

全国高等职业教育“十三五”规划教材  
全国高等院校规划教材·精品与示范系列  
辽宁省职业教育改革发展示范建设项目成果

# 数控铣削编程与加工

主 编 齐孟雷 姜云宽

副主编 柳 琳

主 审 何 晶 赵岐刚

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING



## 内 容 简 介

本书以培养学生的数控铣削零件加工技能为核心,以国家职业标准中级数控铣工考核要求为基本依据,以工作过程为导向,以项目为载体,以 FANUC 数控系统为基本教学环境,详细介绍了数控铣削加工工艺设计、程序编制,数控铣床、加工中心操作加工等内容。本书项目主要来源于企业的典型案例,共包含 6 个项目,每个项目由工作任务、相关知识、任务实施、考核评价、探究与拓展 5 部分组成。

本书为高等职业本专科院校相应课程的教材,也可作为开放大学、成人教育、自学考试、中职学校和培训班的教材,以及企业工程技术人员的参考书。

本教材配有《数控加工技能训练册》和《数控加工实训指导书》及免费的电子教学课件等,详见前言。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

数控铣削编程与加工/齐孟雷,姜云宽主编. —北京:电子工业出版社,2018.2

全国高等院校规划教材·精品与示范系列

ISBN 978-7-121-32183-2

I. ①数… II. ①齐… ②姜… III. ①数控机床—铣床—程序设计—高等学校—教材②数控机床—铣床—金属切削—高等学校—教材 IV. ①TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 161169 号

策划编辑:陈健德(E-mail: chenjd@phei.com.cn)

责任编辑:刘真平

印 刷:

装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:8.25 字数:211.2 千字

版 次:2018 年 2 月第 1 版

印 次:2018 年 2 月第 1 次印刷

定 价:32.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: chenjd@phei.com.cn。

# 前 言



随着现代制造业在我国不断发展,对具备数控加工职业能力的人才需求越来越大,许多院校结合专业背景开设了数控类专业课程。本书根据数控铣削编程的实际过程与数控铣床中级操作员职业岗位要求设置本课程的内容,重点介绍数控铣床相关基础知识、编程技术、铣削加工技术等。本教材的编写始终坚持以就业为导向、以职业能力培养为核心的原则,将数控铣削加工工艺和程序编制方法等专业技术能力融合到教学项目之中。教材内容的编写主要体现以下几方面特点。

(1) 围绕中级数控铣床操作员的职业岗位要求对内容进行取舍。为把提高学生的职业能力放在突出位置,本教材借鉴数控铣床中级操作员应具备的核心职业能力,对教学内容进行取舍。围绕数控编程、加工工艺两大部分进行展开,同时强化数控铣削加工工艺知识和训练,使学员通过学习逐步形成职业能力;而对与编程和操作无关的理论知识,适当予以删减。

(2) 通过项目驱动的组织形式分散难点。本教材的组织形式是设置若干项目,每个项目都以一个实际零件的加工任务为核心引出新的数控指令和数控工艺知识。项目内容从易到难,逐步将各种数控加工指令与工艺知识引出。在多个零件加工项目的驱动下,完成对数控加工指令与工艺知识的学习。

(3) 采用深入浅出、适当重复的编写风格。本教材采用螺旋式上升的方式展开内容,新知识、新技能都在原有知识基础上引出,同时复习和巩固已学过的内容。如在分析铣削编程与加工实例时,所选工程实例的复杂程度逐步提高,在已有知识的基础上引出新的编程方法与工艺知识,做到既有重复,又有提高。

本书由辽宁机电职业技术学院齐孟雷、姜云宽担任主编,柳琳担任副主编。其中项目1、项目2、项目3由齐孟雷编写,项目4由姜云宽编写,项目5由柳琳编写,项目6由张明海编写。本书由辽宁机电职业技术学院何晶教授、赵岐刚副教授主审,特此致谢。

因编者水平和经验有限,书中欠妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

为了方便教师教学,本书还配有《数控加工技能训练册》和《数控加工实训指导书》及免费的电子教学课件等,请有此需要的教师登录华信教育资源网(<http://www.hxedu.com.cn>)免费注册后再进行下载,有问题时请在网站留言或与电子工业出版社联系(E-mail: [hxedu@phei.com.cn](mailto:hxedu@phei.com.cn))。

编 者







# 目 录



项目 1 数控铣床（加工中心）面板应用 .....	1
1.1 工作任务 .....	2
1.2 相关知识 .....	2
1.2.1 数控铣床的分类与结构 .....	2
1.2.2 数控铣床坐标系 .....	5
1.2.3 数控铣床操作面板 .....	7
1.2.4 数控铣床面板操作 .....	11
1.2.5 对刀方法 .....	15
1.2.6 数控铣床安全操作规程 .....	18
1.2.7 数控铣床的日常维护和保养 .....	19
1.3 任务实施 .....	20
1.3.1 面板操作 .....	20
1.3.2 对刀操作 .....	21
1.4 考核评价 .....	21
1.5 探究与拓展 .....	21
1.5.1 问题探究 .....	21
1.5.2 知识拓展——企业现场管理 6S（HSE）制度 .....	22
1.5.3 拓展训练 .....	23
项目 2 数控铣削仿真加工 .....	24
2.1 工作任务 .....	25
2.2 相关知识 .....	25
2.2.1 数控仿真软件的进入和退出 .....	25
2.2.2 机床系统及毛坯的选择 .....	26
2.2.3 数控铣床刀具选择 .....	30
2.2.4 FANUC Oi 标准铣床面板操作 .....	30
2.3 任务实施 .....	36
2.4 考核评价 .....	36
2.5 探究与拓展 .....	37
2.5.1 问题探究 .....	37
2.5.2 知识拓展——企业安全生产教育 .....	37
2.5.3 拓展训练 .....	38
项目 3 平面铣削加工 .....	39
3.1 工作任务 .....	40
3.2 相关知识 .....	40

3.2.1	数控铣削编程基础知识	40
3.2.2	平面铣削刀具	48
3.2.3	游标卡尺的使用	50
3.2.4	数控铣削加工工艺	51
3.3	任务实施	56
3.3.1	加工工艺设计	56
3.3.2	程序编制与加工	58
3.4	考核评价	59
3.5	探究与拓展	60
3.5.1	问题探究	60
3.5.2	知识拓展——数控设备使用注意事项	60
3.5.3	拓展训练	61
<b>项目 4</b>	<b>轮廓铣削加工</b>	<b>62</b>
4.1	工作任务	63
4.2	相关知识	63
4.2.1	轮廓铣削相关编程指令	63
4.2.2	轮廓铣削常用刀具	68
4.2.3	轮廓测量常用量具	69
4.2.4	轮廓铣削的工艺知识	72
4.3	任务实施	74
4.3.1	加工工艺设计	74
4.3.2	程序编制与加工	75
4.4	考核评价	77
4.5	探究与拓展	78
4.5.1	问题探究	78
4.5.2	知识拓展——高速加工的要求与注意事项	78
4.5.3	拓展训练	79
<b>项目 5</b>	<b>键槽型腔铣削加工</b>	<b>80</b>
5.1	工作任务	81
5.2	相关知识	81
5.2.1	相关编程指令	81
5.2.2	键槽型腔铣削常用刀具	82
5.2.3	键槽和型腔的测量装置	83
5.2.4	键槽型腔加工的工艺知识	84
5.3	任务实施	86
5.3.1	加工工艺设计	86
5.3.2	程序编制与加工	87
5.4	考核评价	90
5.5	探究与拓展	91

5.5.1	问题探究 .....	91
5.5.2	知识拓展——柔性制造系统简介 .....	91
5.5.3	拓展训练 .....	93
<b>项目 6</b>	<b>孔加工 .....</b>	<b>95</b>
6.1	工作任务 .....	96
6.2	相关知识 .....	96
6.2.1	孔类零件加工相关编程指令 .....	96
6.2.2	孔加工常用刀具 .....	105
6.2.3	内径百分表的使用 .....	108
6.2.4	孔加工的工艺知识 .....	109
6.3	任务实施 .....	114
6.3.1	加工工艺设计 .....	114
6.3.2	程序编制与加工 .....	115
6.4	考核评价 .....	119
6.5	探究与拓展 .....	120
6.5.1	问题探究 .....	120
6.5.2	知识拓展——钻头刃磨与群钻 .....	121
6.5.3	拓展训练 .....	122
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>124</b>





# 项目1

## 数控铣床（加工中心）面板应用

### 【项目导读】

数控铣床（加工中心）面板应用是学习数控铣削技术的基础。本项目以常规数控铣床操作面板和 FANUC Series 0i-MC 数控系统为例，介绍数控铣床结构、维护保养知识，MDI 面板和机床操作面板上各按键及旋钮的含义及功能，试切法对刀的对刀方法等，为后续项目学习奠定基础。

### 【知识目标】

1. 了解数控铣床的基本结构、特点和应用范围。
2. 掌握数控系统操作面板各键和旋钮的含义及功能。
3. 了解机床坐标系和工件坐标系。
4. 了解机床的技术参数。
5. 掌握试切对刀法。
6. 了解数控铣床的安全操作规程和维护保养知识。

### 【能力目标】

1. 熟练进行机床的开机、回零、工作台和主轴的移动、关机等操作。
2. 熟练运用 MDI 键盘进行简单程序的输入、修改、删除等编辑操作。
3. 能够进行图形的模拟。
4. 熟练运用试切对刀法进行对刀。

### 【素质目标】

1. 通过对刀操作，培养学生严谨认真、一丝不苟的工作作风。
2. 通过操作规程的学习，培养学生安全生产意识。



## 1.1 工作任务

将 O0001 程序录入数控系统，并进行图形模拟与校验。

```
O0001;
N10 G90 G54 G00 X0 Y0 Z100;
N20 M03 S800;
N30 Z10;
N40 G01 Z-2 F100;
N50 X20 Y18;
N60 Y42;
N70 G02 X28 Y50 R8;
N80 G01 X72;
N90 G02 X80 Y42 R8;
N100 Y18;
N110 G02 X72 Y10 R8;
N120 X28;
N130 X20 Y18 R8;
N140 X0 Y0;
N150 G00 Z100;
N160 M05;
N170 M30;
```

## 1.2 相关知识

### 1.2.1 数控铣床的分类与结构

数控铣床可进行平面铣削、轮廓铣削、型腔铣削、钻孔、镗孔、攻螺纹及空间三维复杂型面的铣削等。

#### 1. 按机床主轴的布置形式及机床的布局特点分类

##### 1) 立式数控铣床

立式数控铣床的主轴轴线垂直于水平面，是数控铣床中最常见的一种布局方式，应用范围也最广，如图 1-1 所示。立式数控铣床一般用于加工盘、套、板类零件，一次装夹后，可对上表面进行平面铣削，钻、扩、镗、铰、攻螺纹等孔加工及侧面的轮廓加工。

##### 2) 卧式数控铣床

卧式数控铣床的主轴轴线平行于水平面，主要用于箱体类零件的加工，如图 1-2 所示。为了扩大加工范围和扩充功能，通常采用增加数控转台或万能数控转台的方式来实现



图 1-1 立式数控铣床



图 1-2 卧式数控铣床



## 项目1 数控铣床（加工中心）面板应用

四轴和五轴联动加工。一次装夹后可加工工件侧面的连续回转轮廓，也可通过转台改变零件的加工位置，进行多个位置或工作面的加工。

### 3) 立卧两用数控铣床

立卧两用数控铣床又称万能数控铣床，如图 1-3 所示，主轴可旋转  $90^\circ$  或工作台带工件旋转  $90^\circ$ ，一次装夹后可以完成对工件 5 个表面的加工。其使用范围更广、功能更全，选择加工对象的余地更大。

### 4) 龙门数控铣床

如图 1-4 所示，采用对称双立柱结构的数控铣床，通常称为龙门铣床。双立柱结构保证了机床的整体刚性和强度，有工作台移动和龙门移动两种形式。它适用于加工整体结构件零件、大型箱体零件及大型模具等。

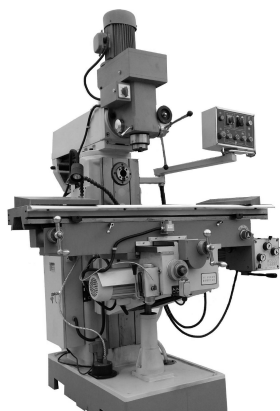


图 1-3 立卧两用数控铣床

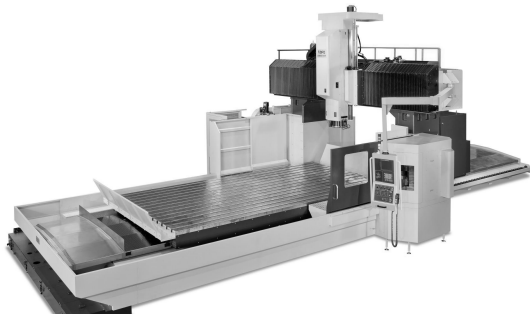


图 1-4 龙门数控铣床

## 2. 按数控系统的功能分类

### 1) 经济型数控铣床

一般采用经济型数控系统，采用开环控制，可以实现三坐标联动，如图 1-5 所示。

### 2) 全功能数控铣床

采用半闭环控制或闭环控制，功能丰富，加工适应性强，应用最广泛，如图 1-6 所示。



图 1-5 经济型数控铣床

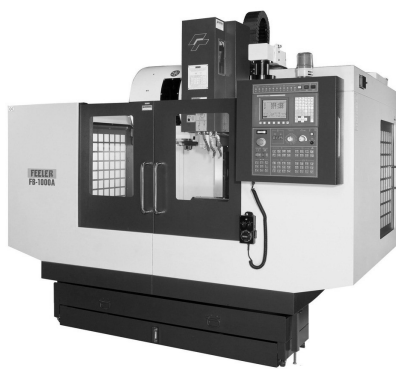


图 1-6 全功能数控铣床



### 3. 数控铣床的结构组成

数控铣床是在一般铣床的基础上发展起来的，其结构与普通铣床有些相似，但也有很大区别。数控铣床一般由数控系统、主轴传动系统、进给伺服系统、冷却润滑系统等几大部分组成，如图 1-7 所示。

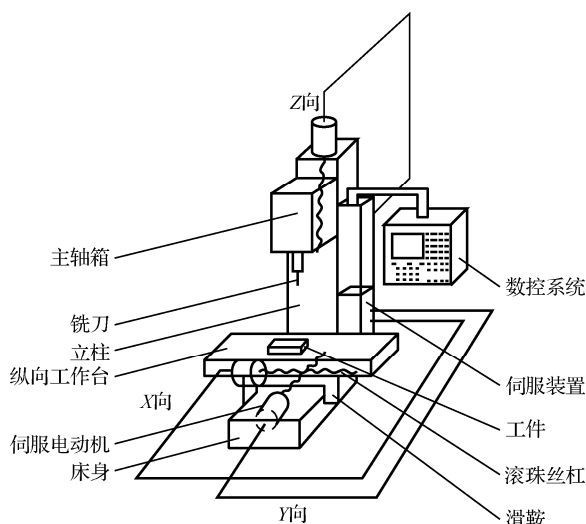


图 1-7 数控铣床组成

#### 1) 主轴箱

主轴箱包括主轴箱体和主轴传动系统，用于装夹刀具并带动刀具旋转，主轴转速范围和输出扭矩对加工有直接影响。

#### 2) 进给伺服系统

进给伺服系统由进给电动机、进给执行机构、检测反馈装置组成，按照程序设定的进给速度实现刀具和工件之间的相对运动，包括直线进给运动和旋转运动。

#### 3) 数控系统

数控机床运动控制的中心，执行数控加工程序，控制机床进行加工。

#### 4) 辅助装置

辅助装置包括液压、气动、润滑、冷却系统、排屑和防护等装置。

#### 5) 机床基础件

通常是指底座、立柱、横梁等，它是整个机床的基础和框架。

### 4. 数控铣床的主要加工对象

#### 1) 平面类零件

平面类零件是指加工面平行或垂直于水平面，或加工面与水平面的夹角为定角的零件，如箱体、盘、套、板类等平面零件，如图 1-8 所示。目前，在数控铣床上加工的绝大多数零件属于平面类零件。平面类零件是数控铣削加工中最简单的一类，一般只需要用三





## 项目1 数控铣床（加工中心）面板应用

坐标数控铣床的两轴联动或三轴联动即可加工。在加工过程中，加工面与刀具为面接触，粗、精加工都可采用端铣刀或牛鼻刀。

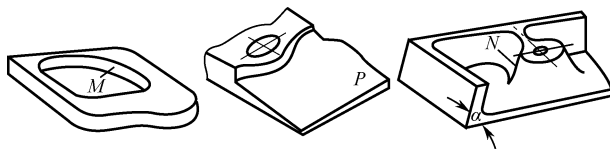


图 1-8 平面类零件

### 2) 变斜角类零件

加工面与水平面的夹角呈连续变化的零件，称为变斜角类零件，如图 1-9 所示。

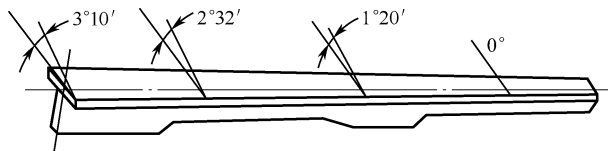


图 1-9 变斜角类零件

这类零件的特点是加工面不能展开为平面，而且在加工中，加工面与铣刀接触的瞬间为一直线。此类零件一般采用四坐标或五坐标数控铣床摆角加工，也可采用三坐标机床，通过两轴半联动用鼓形铣刀分层近似加工，但精度较差。

### 3) 曲面类零件

加工面为空间曲面的零件称为曲面类零件，如模具、叶片、螺旋桨等。曲面类零件加工面不能展开为平面，加工时，加工面与铣刀始终为点接触。加工曲面类零件一般采用三坐标数控铣床，表面精加工多采用球头铣刀进行。

## 1.2.2 数控铣床坐标系

### 1. 机床坐标系

机床坐标系是机床上固有的坐标系，机床坐标系的方位是参考机床上的一些基准，由机床制造厂家设定的。机床上的一些基准是指机床上的一些固定基准线，如主轴中心线；固定的基准面，如工作台面、主轴端面、工作台侧面、导轨面等。不同的机床有不同的坐标系。

机床坐标系原点称为机床原点或机械原点，它的位置是在各坐标轴的正向最大极限处。

### 2. 工件坐标系

工件坐标系是编程人员在编程和加工时使用的坐标系，是程序的参考坐标系。工件坐标系的位置以机床坐标系为参考点，一般在一个机床中可以设定 6 个工件坐标系，即 G54~G59。编程人员以工件图样上的某点为工件坐标系的原点，称为工件原点或编程原点。而编程时的刀具轨迹坐标点是按工件轮廓在工件坐标系中的坐标确定的。在加工时，工件随夹具安装在机床上，这时测量工件原点和机床原点之间的距离，称作工件原点偏置。这一过程在实际加工中就是通常所说的对刀，通过对刀将测得的偏置值预存到数控系统中，从而建立起机床坐标系和工件坐标系之间的关系。



### 3. 坐标系的有关规定

规定数控机床坐标轴及运动方向,是为了准确地描述机床运动,简化程序的编制,并使所编程序具有互换性。目前国际标准化组织已经统一了标准坐标系,我国也颁布了 JB 3051—1982《数字控制机床坐标和运动方向的命名》标准,对数控机床的坐标和运动方向做了明文规定。

(1) 刀具相对于静止的工件而运动的原则。由于机床的结构不同,有的是刀具运动、工件固定,有的是刀具固定、工件运动。为编程方便,一律规定为工件固定、刀具运动。

(2) 标准的坐标系是一个右手笛卡儿坐标系,如图 1-10 所示,拇指为  $X$  轴,食指为  $Y$  轴,中指为  $Z$  轴,指尖指向各坐标轴的正方向,即增大刀具和工件距离的方向。

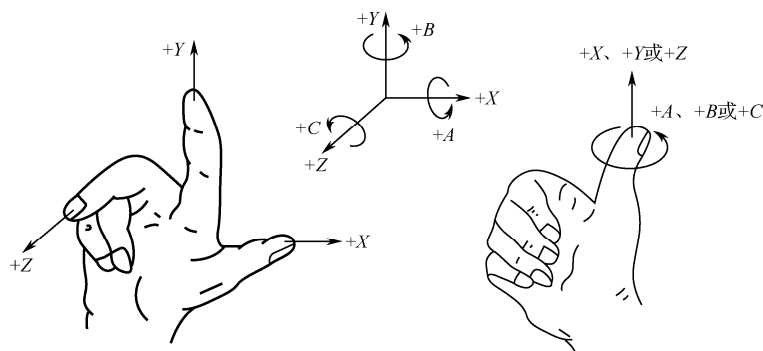


图 1-10 右手笛卡儿坐标系

(3) 若有旋转轴时,规定绕  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  轴的旋转轴为  $A$ 、 $B$ 、 $C$  轴,其方向为右旋螺纹方向。

(4) 各坐标轴在机床上的分布按如下规定:

$Z$  轴是传递主切削力的主轴,其正方向是使刀具远离工件的方向,或者说是增大刀具与工件距离的方向,数控铣床的  $Z$  轴是带动刀具旋转的主轴。

$X$  轴是水平的,平行于工件装夹平面,对于立式铣床,其正方向是由主轴向立柱方向看,  $X$  的正方向指向右方。

$Y$  轴,在  $Z$  轴和  $X$  轴确定之后,由右手笛卡儿坐标系来确定其位置和方向。

立式数控铣床坐标方向如图 1-11 所示。

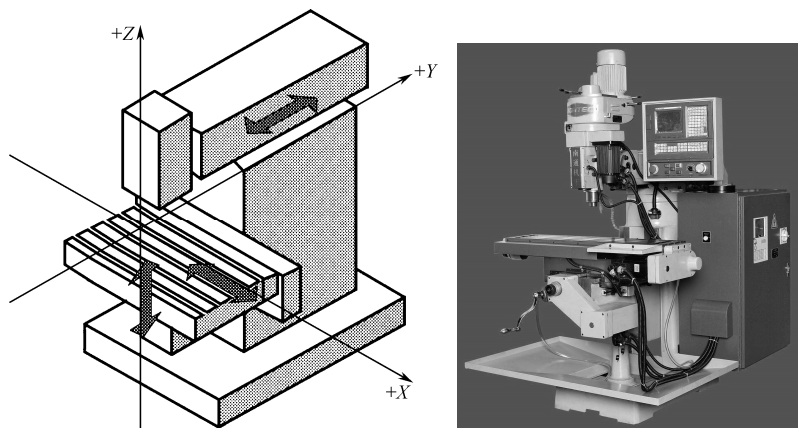


图 1-11 立式数控铣床坐标方向



(5) 主轴旋转的顺时针方向是右旋螺纹进入工件的方向。

### 1.2.3 数控铣床操作面板

#### 1. FANUC Series 0i-MC 系统操作面板

##### 1) 键盘的分类

根据键的功能不同 MDI 键盘可分为以下几部分：

(1) 软件键。该部分位于 CRT 显示屏的下方，除了左、右两个箭头键外，键面上没有任何标识。这是因为各键的功能都被显示在 CRT 显示屏下方的对应位置，并随着 CRT 显示页面的不同而有着不同的功能，这就是该部分被称为软件键的原因。

(2) 系统操作键。分别为右下角的 RESET 键和 INPUT 键，其中，RESET 为复位键，INPUT 为输入键。

(3) 数据输入键。该部分包括了机床能够使用的所有字符和数字。每个字符键都具有两个功能，较大的字符为该键的第一功能，即按下该键可以直接输入该字符；较小的字符为该键的第二功能，要输入该字符须先按“SHIFT”键（按“SHIFT”键后，屏幕上相应位置会出现一个“^”符号）然后再按该键。其中，键“6/SP”中“SP”是“空格”的英文缩写（Space），也就是说，该键的第二功能是空格。

(4) 光标移动键。在 MDI 面板的下方，标有上、下、左、右箭头键为光标移动键，标有“PAGE”的上、下箭头键为换页键。

(5) 编辑键和输入键。这一组有 3 个键：ALTER、INSERT 和 DELETE，位于 MDI 面板的右下方，用于编辑加工程序。

(6) NC 功能键。该组的 6 个键用于切换 NC 显示的页面以实现不同的功能。

(7) 电源开关按钮。机床的电源开关按钮位于 CRT/MDI 面板上，红色按钮为 NC 电源关断，绿色按钮为 NC 电源接通，黄色按钮为超程释放。

##### 2) MDI 键盘功能说明

图 1-12 所示为 FANUC 0i 系统的 MDI 键盘（右半部分）和 CRT 界面（左半部分）。MDI 键盘用于程序编辑、参数输入等，功能划分如图 1-13 所示。MDI 键盘上各个键的功能列表如表 1-1 所示。

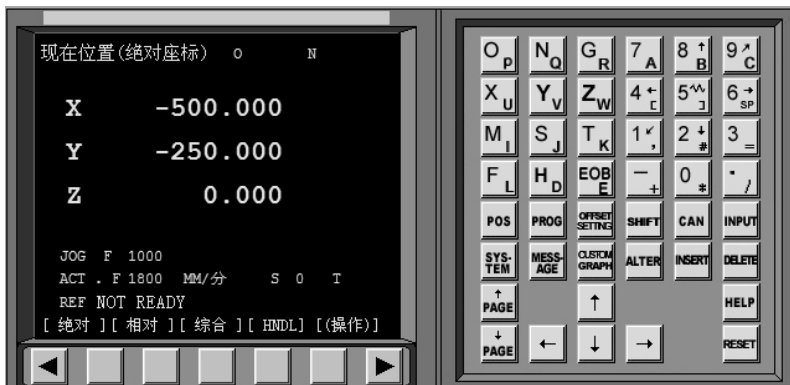


图 1-12 FANUC 0i 系统的 MDI 键盘和 CRT 界面

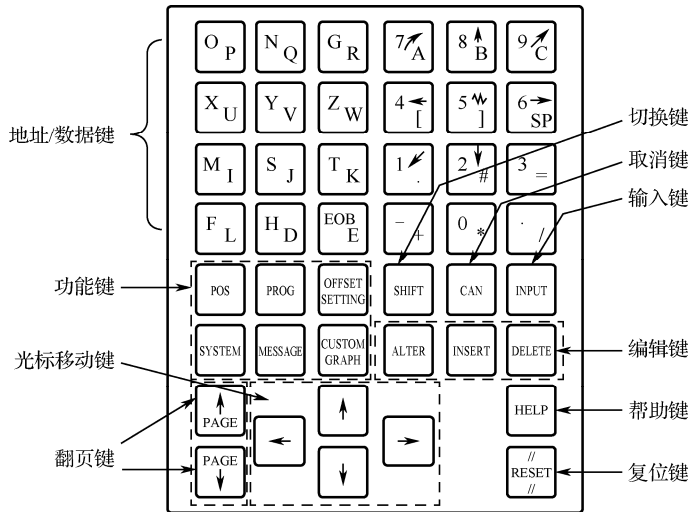


图 1-13 MDI 键盘功能划分

表 1-1 MDI 键盘各键的功能表

MDI 键	功 能
	软键实现左侧 CRT 中显示内容的向上翻页；软键实现左侧 CRT 显示内容的向下翻页
	移动 CRT 中的光标位置。软键实现光标的向上移动；软键实现光标的向下移动；软键实现光标的向左移动；软键实现光标的向右移动
	实现字符的输入，按键后再按字符键，将输入右下角的字符。例如，按键将在 CRT 的光标所处位置输入“O”字符，按软键后再按键将在光标所处位置处输入 P 字符；按键（EOB）将输入“；”号表示换行结束
	实现字符的输入，例如，按键将在光标所在位置输入字符“5”，按键后再按键将在光标所在位置处输入“j”
	在 CRT 中显示坐标值
	CRT 将进入程序编辑和显示界面
	CRT 将进入参数补偿显示界面
	系统参数的设置与修改
	报警信息的显示
	在自动运行状态下将数控显示切换至轨迹模式
	输入字符切换键
	删除单个字符
	将数据域中的数据输入指定的区域
	字符替换



续表

MDI 键	功 能
	将输入域中的内容输入指定区域
	删除一段字符
	帮助信息
	机床复位

## 2. 数控铣床操作面板

不同生产厂家，不同的机床功能，操作面板的按键形式和排列各不相同。如图 1-14 所示为北京第一机床厂生产的 XKA714B/F 数控铣床操作面板。

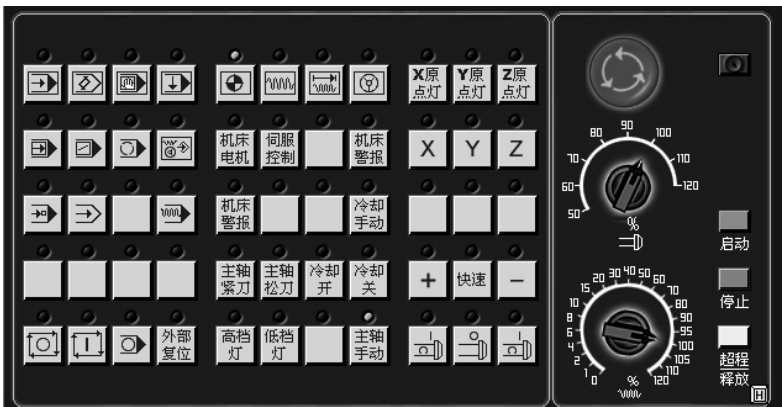


图 1-14 XKA714B/F 数控铣床操作面板

其各按钮及旋钮的功能列表如表 1-2 所示。

表 1-2 机床操作面板各按钮及旋钮的功能表

按钮及旋钮	功 能
	编辑方式（EDIT）按钮。 按下该按钮和 MDI 键盘中的 <b>PROG</b> 键后，可以对工件加工程序进行输入、修改、删除、查询、呼叫等
	手动数据输入方式（MDI）按钮。 按下该按钮和 MDI 键盘中的 <b>PROG</b> 键后，可以输入一段较短的程序，然后，通过按循环启动按钮开始执行，执行完成后，程序消失
	自动运行方式（MEM）按钮。 该方式是按照程序的指令控制机床连续自动加工的操作方式。自动操作方式所执行的程序在循环启动前已装入数控系统的存储器内，所以，这种方式又称存储器运行方式
	回零按钮。 按下该按钮后，再分别按 3 个坐标轴的正方向，实现机床回零
	手动操作方式（JOG）按钮。 在此方式下，按下相应的坐标轴按钮和方向按钮，能将工作台和主轴向所希望的方向目标位置移动。松开按钮，移动即停止。进给轴移动速率由进给倍率开关的位置决定



续表

按钮及旋钮	功 能
	手摇脉冲进给方式（HANDLE）按钮。 在这种方式下，选择相应的手轮轴及手摇倍率，操作者可以转动手摇脉冲发生器，令工作台和主轴移动
	手动快速进给按钮。 在手动方式下，选择相应坐标轴，然后同时按下该按钮和 $\boxed{+}$ 或 $\boxed{-}$ 键中的一个，进给轴以快速移动。若只按 $\boxed{+}$ 或 $\boxed{-}$ 键，进给轴移动恢复成手动连续进给时速度
	冷却液开、闭按钮。 先按下 $\boxed{\text{冷却开}}$ 按钮，再按 $\boxed{\text{冷却关}}$ 按钮，指示灯亮，冷却泵通电工作。打开冷却液阀门，冷却液喷出。按一下 $\boxed{\text{冷却开}}$ ，冷却液泵断电，冷却液关闭。 在自动或 MDI 运行时，若执行了冷却液开指令（M08），该指示灯也亮；执行了冷却液关指令（M09），则指示灯灭，冷却液关闭
	机床锁住按钮。 按下该按钮，指示灯亮，机床锁住功能有效；再按一次，指示灯灭，机床锁住功能解除。 在机床锁住功能有效期间，各伺服轴移动操作都只能使位置显示值变化，而机床各伺服轴位置不变。但主轴、冷却、刀架等其他功能照常
	空运行按钮。 试运行操作也称空运行，是在不切削的条件下试验、检查输入的工件加工程序的操作。为了缩短调试时间，在试运行期间的进给倍率被系统强制在最大值上。 按下该按钮，指示灯亮，试运行操作开始执行；再次按下该按钮，结束试运行状态
	程序跳步按钮。 按下该按钮，指示灯亮，程序段跳过功能有效；再按一下该按钮，指示灯灭，程序段跳过功能无效。 在自动操作方式下，在程序段跳过功能有效期间，凡是在程序段号 N 前冠以“/”符号的程序段，全部跳过不予执行；在程序段跳过功能无效期间，所有程序段全部照常执行
	单程序段按钮。 在自动方式下，按一下该按钮，指示灯亮，单程序段功能有效；再按一下该按钮，指示灯灭，单程序段功能撤销。在程序连续运行期间允许切换单程序段功能有效/无效。 在自动操作方式下单程序段功能有效期间，每按一次循环启动按钮，仅执行一段程序，执行完就停止，必须再按下循环启动按钮，才能执行下一段程序
	程序选择停止按钮。 该按钮与程序中的 M01 指令配合使用，在程序执行到 M01 指令，且该按钮被按下时，指示灯亮，则程序停止；否则程序继续执行
	循环启动按钮。 在自动操作方式和手动数据输入方式（MDI）下，都用它启动程序，在程序执行期间，其指示灯亮
	进给保持按钮。 在自动操作方式和手动数据输入方式（MDI）下，在程序执行期间，按下此按钮，指示灯亮，执行中的程序暂停；再按下循环启动按钮后，进给暂停按钮指示灯灭，程序继续执行
	手动进给按钮。 在手动方式下，按 $\boxed{X}$ $\boxed{Y}$ $\boxed{Z}$ 中的任意键，指示灯亮后，再按 $\boxed{+}$ 或 $\boxed{-}$ 按钮，能使工作台或主轴向希望的目标方向移动



续表

按钮及旋钮	功 能
	<p>快速移动倍率按钮。</p> <p>在 G00 快速移动时，按下 F0 按钮，移动速度最慢，其余 3 个按钮分别是最快速度的百分数</p>
	<p>主轴操作按钮。</p> <p>在开机后输入 M03 和主轴转速的前提下，按下按钮，然后再按主轴正转按钮，指示灯亮，主轴正转；按下主轴反转按钮，指示灯亮，主轴反转；按下主轴停止按钮，主轴正反转指示灯都灭，主轴停止转动。</p> <p>在自动或 MDI 方式下，执行主轴正转指令（M03）后，主轴正转指示灯亮，主轴正转；执行主轴反转指令（M04）后，主轴反转指示灯亮，主轴反转；如果执行了主轴停止指令（M05），正转和反转指示灯全灭，主轴停止</p>
	<p>主轴松刀、紧刀按钮。</p> <p>在手动方式下，主轴停止状态按按钮，指示灯亮，然后按或按钮可以实现主轴上刀具的拉紧与松开，实现手动换刀</p>
	<p>进给倍率旋钮。</p> <p>在自动加工方式下，可通过此旋钮来调节进给速度的大小</p>
	<p>主轴倍率旋钮。</p> <p>调节主轴转速的大小</p>
	<p>系统电源启动按钮。</p> <p>按下此按钮启动数控系统</p>
	<p>系统电源关闭按钮。</p> <p>按下此按钮关闭系统电源</p>
	<p>超程释放按钮。</p> <p>按住此按钮不放，同时按下相应坐标轴移动按钮，消除超程报警</p>
	<p>程序保护锁。</p> <p>将该锁的钥匙旋到 ON 位置，可对程序进行输入、修改、删除等操作；将该锁的钥匙旋到 OFF 位置，无法对程序进行输入、修改、删除等操作</p>
	<p>紧急停止按钮。</p> <p>在自动加工过程中，当发生危险情况时，立即按下该按钮，机床的全部动作停止，该按钮并能自锁；当险情或故障排除后，将该按钮顺时针旋转一个角度即可复位弹开</p>

## 1.2.4 数控铣床面板操作

### 1. 电源通/断


#### 1) 系统通电步骤

- (1) 在通电之前，首先检查机床的外观是否正常。
- (2) 如果正常，将总电源合上。
- (3) 将机床上的电源开关旋至 ON 的位置。



(4) 按下机床操作面板上的绿色启动按钮，数控系统启动，数秒后显示屏亮，显示有关位置和指令信息，此时机床通电完成。

## 2) 系统断电步骤










- (1) 在加工结束之后，按下红色按钮，数控系统即刻断电。
- (2) 将机床的电源开关旋至 OFF 处。
- (3) 断开总电源开关即可。

## 2. 手动操作








### 1) 回零

采用增量式测量的数控机床开机后，都必须做回零操作，即返回参考点操作。通过该操作建立起机床坐标系。采用绝对测量方式的数控机床开机后，不必做回零操作。

首先检查各轴坐标读数，确保各轴离机械原点 100 mm 以上，否则，不能进行原点回归，系统出现报警。如果距离不够，则需要在手动模式下移动机床各轴，使其满足以上要求。回零操作步骤如下：

- (1) 按下回零按钮.
- (2) 按下 Z 向移动按钮.
- (3) 再按下手动正向进给按钮.
- (4) 分别按下 和相应的手动正向按钮.
- (5) 当机床原点指示灯  亮后，表示回零成功。


### 2) 手动连续进给

在手动操作模式下，持续按下操作面板上的进给轴  及其方向选择按钮 ，会使刀具沿着所选方向连续移动。同时按下快速按钮，使各轴实现快速移动。

### 3) 手轮进给

在手轮进给方式中，刀具或工作台可以通过旋转手摇脉冲发生器实现微量移动。使用手轮进给轴选择旋钮，选择要移动的轴，手摇脉冲发生器旋转一个刻度时，刀具移动的最小距离与最小输入增量相等。手摇脉冲发生器旋转一个刻度时，刀具移动的距离可以放大 1 倍、10 倍、100 倍。

操作步骤如下：

- (1) 按下手轮方式选择按钮.
- (2) 旋转手摇脉冲发生器上的移动轴旋钮和倍率旋钮，使之处于相应的位置。
- (3) 以手轮转向对应的移动方向来旋转手轮，手轮旋转 360°，刀具移动的距离相当于 100 个刻度的对应值。

### 4) 自动运行

用编程序运行 CNC 机床，称为自动运行。自动运行分为存储器运行、MDI 运行、DNC 运行、程序再启动、利用存储卡进行 DNC 运行等。



#### (1) 存储器运行


程序事先存储到存储器中。当选择了这些程序中的一个，并按下机床操作面板上的循








## 项目1 数控铣床（加工中心）面板应用

环启动按钮后，启动自动运行。在自动运行中，机床操作面板上的进给保持按钮被按下后，自动运行被临时终止；当再次按下循环启动按钮后，自动运行又重新开始。

当 MDI 面板上的复位键被按下后，自动运行被终止，并且进入复位状态。

运行步骤：①在按下键和编辑键后，显示程序屏幕，输入程序号，按下软键（O 搜索），打开所要运行的程序。②按下机床操作面板上的循环启动按钮便可启动自动运行。


### （2）MDI 运行

在 MDI 运行方式中，通过 MDI 面板，可以编制最多 10 行的程序被执行，程序格式和通常程序一样。在 MDI 方式中编制的程序不能被存储，MDI 运行用于简单的测试操作。

MDI 运行操作步骤如下：

按下 MDI 方式按钮，按下 MDI 操作面板上的功能键。屏幕显示如图 1-15 所示。

界面中自动加入程序号 O0000；用通常的程序编辑方式，编制一个要执行的程序，在程序段的结尾处加上 M99，用以在程序执行完毕后，将控制返回到程序头。

为了执行程序，需将光标移到程序头（从中间点启动也是可以的），按下循环启动按钮，程序启动运行。

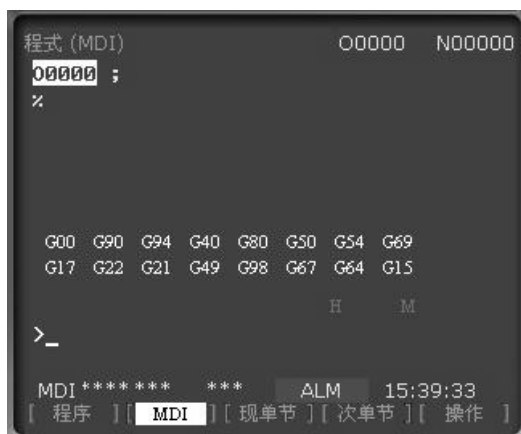





图 1-15 MDI 界面

当执行程序结束语句（M02 或 M30）或者执行 ER（%）后，程序自动清除并结束运行。通过指令 M99，控制自动回到程序的开头。




要在中途停止或结束 MDI 操作，有如下两种方法：

停止 MDI 操作——按下操作面板上的进给保持按钮，进给保持按钮指示灯亮，程序暂停。再次按下循环启动按钮，机床的运行被重新启动。

结束 MDI 操作——按下 MDI 面板上的复位按钮，自动运行结束，并进入复位状态。


## 3. 程序管理操作

### 1) 程序的创建



按下编辑按钮，然后按下程序按钮，屏幕将显示程序内容页面。输入以字母 O 开头后接 4 位数字的程序编号（如 O0010），按插入按钮，即可创建由该程序编号命名的程序。










## 2) 程序的录入


当创建程序完成后，系统自动进入程序录入状态，此时可按字母、数字键，然后按插入键 ，即可将程序插入当前程序的光标之后。


当输入有误，在未按插入键  之前，可以按  键，删除错误输入。


当输入完成一段程序，按分号键  后，再按插入键 ，则之后输入的内容自动换行。

## 3) 程序的修改




程序字的插入。按  和  键用于翻页，按方位键     移动光标。将光标移到所需位置，按 MDI 键盘上的数字/字母键，将代码输入缓冲区内，按  键，把缓冲区的内容插入光标所在代码后面。


删除字符。先将光标移到所需删除字符的位置，按  键，删除光标所在处的代码。

字符替换。先将光标移到所需替换字符的位置，将替换成的字符通过 MDI 键盘输入缓冲区内，按  键，用缓冲区内的内容替代光标所在处的代码。




字符查找。输入需要搜索的字母或代码，然后按光标向下键 ，开始在当前数控程序中光标所在位置后搜索。（代码可以是一个字母或一个完整的代码，如“N0010”、“M”等。）如果此数控程序中有所搜索的代码，则光标停留在找到的代码处；如果此数控程序中光标所在位置后没有搜索的代码，则光标停留在原处。

## 4) 程序的删除

按下编辑按钮 ，再按下程序按钮 ，屏幕将显示程序内容页面，然后利用软键（LIB）查看已有程序列表，利用 MDI 键盘输入要删除的程序编号（如 O0010），按  键，程序即被删除。


删除全部数控程序：利用 MDI 键盘输入“O-9999”，按  键，全部数控程序即被删除。

## 5) 打开或切换不同的程序

按下程序按钮 ，在编辑  模式下，输入要打开或切换的程序编号，然后按光标向下键 ，或按下软键（O 搜索），即可打开或切换。

## 4. 刀补值的输入

在程序输入完成后，要进行刀补值的输入。

按下 MDI 操作面板上的设置/偏置键 ，CRT 将进入参数补偿设置界面，如图 1-16 所示。

对应不同刀号在“形状（H）”一列中输入长度补偿值，在“形状（D）”一列中输入刀具半径补偿值。而在“磨耗（H）”和“磨耗（D）”中，可将刀具在长度和半径方向的磨损量输入其中，以修正刀具的磨损；也可在精加工时，通过调整磨耗量，以保证精加工的尺寸精度。

工具补正		O		H	
番号	形状(H)	磨耗(H)	形状(D)	磨耗(D)	
001	0.000	0.000	0.000	0.000	
002	0.000	0.000	0.000	0.000	
003	0.000	0.000	0.000	0.000	
004	0.000	0.000	0.000	0.000	
005	0.000	0.000	0.000	0.000	
006	0.000	0.000	0.000	0.000	
007	0.000	0.000	0.000	0.000	
008	0.000	0.000	0.000	0.000	
现在位置(相对坐标)					
X	0.000	Y	0.000	Z	0.000
			S 0 T		
REF **** **					
[ 补正 ] [SETTING][坐标系] [ ] [ (操作)					

图 1-16 参数补偿设置界面



## 5. 程序的检查调试

在实际加工之前要对录入的程序进行全面检查，以确定机床是否按编好的加工程序进




行工作。检查调试的方法主要是利用机床锁住功能进行图形模拟、空运行和单段运行。

## 1) 图形模拟

同时按下机床操作面板上的机床锁住按钮和 MDI 操作面板上的图形模拟按钮, 机床进入图形模拟状态。此时, 在自动运行模式下按循环启动按钮, 刀具、工作台不再移动, 但显示器上沿每一轴的运动位移在变化, 即在显示器上显示出了刀具运动的轨迹。通过这种操作, 可检查程序的运动轨迹是否正确。

## 2) 空运行


在自动运行模式下, 按下空运行按钮, 此时, 机床进入空运行状态, 刀具按参数指定的速度快速移动, 而与程序中指令的进给速度无关。该功能可快速检查刀具运动轨迹是否正确。

在此状态下, 刀具的移动速度很快, 因此, 应在机床未装工件或将刀具抬高一定高度的情况下进行。将工件抬高一定的高度, 可在机床坐标系设置界面中, 将公共坐标系 (EXT) 的 “Z” 中输入 100.0, 如图 1-17 所示。



图 1-17 坐标系设置界面

## 3) 单段运行

按下单段运行按钮, 机床进入单段运行方式。在单段运行方式下, 按下循环启动按钮后, 刀具在执行完程序中的一段程序后停止; 再次按下循环启动按钮, 执行完下一段程序后, 刀具再次停止。通过单段运行方式, 使程序一段一段地执行, 以此检查程序是否正确。

## 1.2.5 对刀方法




所谓对刀, 其目的就是确定工件坐标系原点在机床坐标系中的位置, 即将对刀后的数据输入 G54~G59 坐标系中, 在程序中调用该坐标系。G54~G59 是该原点在机床坐标系的坐标值, 它储存在机床内, 无论停电、关机还是换班后, 它都能保持不变。同时, 通过对刀可以确定加工刀具和基准刀具的刀补, 即通过对刀确定加工刀具与基准刀具在 Z 轴方向上的长度差, 以确定其长度补偿值。








根据工件表面是否已被加工, 可将对刀分为试切法对刀和借助仪器或量具对刀两种。



## 1. 试切法对刀

试切法对刀适用于尚需加工的毛坯表面或加工精度要求较低的场合。操作步骤如下：

(1) 首先启动主轴。按下机床操作面板上的 MDI 按钮和数控操作面板上的程序按钮，输入“M03 S800”，然后按下循环启动按钮，主轴开始正转。

(2) 按下手动操作按钮，然后通过操作按钮，将刀具移动到工件附近，并在 X 轴方向上使刀具离开工件一段距离，Z 轴方向上使刀具移动到工件表面以下，然后换用手轮将刀具慢慢移向工件的左表面，当刀具稍稍切到工件时，停止 X 方向的移动。此时，按下数控操作面板上的位置功能键，显示出机床的机械坐标值，并记录该数值。

将刀具离开工件左边一定距离，抬刀，移至工件的右侧，再下刀，在工件的右表面再进行一次试切，并记录下该处的机械坐标值。将两处的机械坐标值相加再除以 2，就得到该工件的中心坐标的机械坐标值，将所得的值输入 G54 的 X 坐标中即可。

也可通过测量得到 X 的坐标值。当刀具在工件左边试切后，将相对坐标值中的 X 值归零，然后再在工件右边试切一次。此时，得到 X 轴的相对坐标值，将该值除以 2，就得到了工件在 X 轴上的中点相对坐标值，此时，将刀具抬起，移向工件中点，当到达工件该相对坐标值时，停止移动。将光标移动到 G54 的 X 坐标上，输入 X0，按下“测量”软键，X 的机械坐标值就输入到 G54 的 X 中。

(3) 用同样方法分别试切工件的前后表面，可得到工件的 Y 坐标值。

(4) X、Y 轴对好后，再对 Z 轴。将刀具移向工件上表面，在工件上表面试切一下，此时，Z 轴方向不动，读取 Z 向的机械坐标值，输入到 G54 的 Z 坐标中。或者输入 Z0，然后按软键“测量”即可。

以上坐标系建立在工件的中心。但在实际加工时，通常为了编程的方便和检查尺寸的原因，坐标系建立在某个特定的位置则更加合理。此时，一般过程同样用中心先对好位置，再移到指定的偏心位置，并把此处的机械坐标值输入 G54 中，即可完成坐标系的建立。为避免出错，最好将中心位置的相对坐标系设置为零，然后再进行移动。

如果工件坐标系设置在工件的某个角上，则在 X、Y 方向对刀时，只需试切相应的一个表面即可。但此时应注意在输入相应的机械坐标值时，应加上或减去刀具的半径值。

## 2. 借助仪器或量具对刀

在实际加工中，一些较精密零件的加工精度往往控制在几丝（1 丝=0.01 mm）甚至几微米之内，试切法对刀不能满足精度要求；另外，有的工件表面已经进行了精加工，不能对工件表面进行切削，试切法对刀不能满足其要求。因而常借助仪器或量具进行对刀。

### (1) 使用光电式寻边器对刀

光电式寻边器如图 1-18 所示，其工作原理是：将光电寻边器安装到刀柄上，然后装到主轴上，利用手轮控制，使光电寻边器以较慢的速度移向工件的测量表面，当顶端上的圆球接触到工件的某一对刀表面时，整个机床、寻边器和工件之间便形成一条闭合的电路，寻边器上的指示灯发光，并发出声音。其具体操作步骤、数值记录和录入与试切法对刀相同，所不同的是这种对刀方法对工件没有破坏作用，并且利用了光电信号，提高了对刀精度。

### (2) 机械式偏心寻边器对刀

机械式偏心寻边器如图 1-19 所示。其结构分为上下两段，中间有孔，内有弹簧，通过



弹簧拉力将上下两段紧密结合到一起。



图 1-18 光电式寻边器



图 1-19 机械式偏心寻边器

其工作原理是：将寻边器安装到刀柄，并装到主轴上，让主轴以  $200\sim 400\text{ r/min}$  的转速转动。此时，在离心力的作用下，寻边器上、下两部分是偏心的，当用寻边器的下部去碰工件的某个表面时，在接触力的作用下，寻边器的上、下两部分将逐渐趋向于同心，同心时的坐标值即为对刀值。具体操作步骤、数值记录和录入与试切法对刀相同。

上述两种方法只适用于  $X$  和  $Y$  向的对刀， $Z$  向可采用对刀块对刀。仪器的灵敏度在  $0.005\text{ mm}$  之内，因而，对刀精度可以控制在  $0.005\text{ mm}$  之内。使用机械式偏心寻边器时，主轴转速不宜过高。转速过高，离心力变大，会使寻边器内的弹簧拉长而损坏。

### 3. 使用对刀块或 $Z$ 轴设定器进行 $Z$ 向对刀

$X$  和  $Y$  向可采用以上方法对刀， $Z$  向可采用对刀块对刀、 $Z$  轴设定器对刀。对刀块通常是高度为  $100\text{ mm}$  的长方体，用热变形系数较小、耐磨、耐蚀的材料制成； $Z$  轴设定器又分为光电式和指针式两种，如图 1-20 和图 1-21 所示。

图 1-20 光电式  $Z$  轴设定器图 1-21 指针式  $Z$  轴设定器

利用对刀块进行  $Z$  向对刀时，主轴不转，当刀具移到对刀块附近时，改用手轮控制，沿  $Z$  轴一点点向下移动。每次移动后，将对刀块移向刀具和工件之间，如果对刀块能够在刀具和工件之间轻松穿过，则间隙太大；如果不能穿过，则间隙过小。反复调试，直到对刀块在刀具和工件之间能够穿过，且感觉对刀块与刀具及工件有一定摩擦阻力时，说明间隙合适。然后读出此时  $Z$  轴的机械坐标值，减去  $100$  后，输入图 1-17 的  $Z$  坐标中， $Z$  向对刀完成。 $Z$  轴设定器对刀方法和对刀块一样，精度更高。

除以上方法外，还可利用塞尺对刀。对于圆柱形坯料，有的还可借助百分表对刀。



### 1.2.6 数控铣床安全操作规程

数控铣床操作规程是保证操作人员人身安全和设备安全的重要措施，操作人员必须严格按照操作规程进行正确操作。

#### 1. 安全操作基本注意事项

- (1) 进入实训场地，要穿好工作服，戴好工作帽及防护镜，不允许戴手套操作，禁止穿凉鞋、拖鞋、裙子等。
- (2) 学生必须在教师指导下进行机床操作，同一铣床两人以上实习时，只能有一人操作控制面板。
- (3) 操作铣床时，思想要集中，操作人员不允许擅自离开，必须停机后方可离开。
- (4) 不得移动或损坏安装在机床上的警告标牌。
- (5) 机床加工时，不可调整刀具、测量工件尺寸或靠近旋转的刀具和工件。
- (6) 首次加工运行程序前，必须经过指导教师检查并同意方可进行加工。
- (7) 工作场地要保持整洁，刀具、工具、量具要分别放在规定位置，机床床面上禁止放任何物品。

#### 2. 加工前的注意事项

- (1) 查看工作现场是否存在可能影响操作安全的因素，若存在应及时排除。
- (2) 按数控铣床启动顺序开机，查看机床是否显示报警信息。
- (3) 数控铣床通电后，CNC 尚未出现位置显示和报警画面之前，不要碰 MDI 面板上的任何键。开机完成后，检查各开关、按钮和键是否正常、灵活，数控铣床有无异常现象。
- (4) 检查液压系统、润滑系统油标是否正常，检查冷却液容量是否正常，按规定加好润滑油和冷却液。
- (5) 各坐标轴手动回参考点。回参考点时要注意，不要和机床上的工件、夹具等发生碰撞。若某轴在回参考点前已处于参考点位置附近，必须先将该轴手动移动到距离参考点 100 mm 以外的位置，再回参考点。
- (6) 为使机床达到热平衡状态，必须使数控铣床空运转 15 min 以上。
- (7) 按照要求正确安装好刀具，并检查刀具运动是否正常，通过对刀，正确输入刀具补偿值，并认真核对。
- (8) 数控加工程序输入完毕后，应认真校对，确保无误，并进行模拟加工。
- (9) 正确测量和计算工件坐标系，并对所得结果进行验证。
- (10) 手轮进给和手动连续进给操作时，必须检查各种开关所选择的位置是否正确。弄清正负方向，认准按键，然后再进行操作。

#### 3. 加工工件中的注意事项

- (1) 首次试切加工，应采用单段运行方式进行加工。
- (2) 自动运行开始时，快速倍率、进给倍率开关置于最低挡，切入工件后再加大倍率。
- (3) 在运行数控加工程序中，要重点注意数控系统上的坐标显示。
- (4) 禁止用手接触刀具和切屑，切屑必须用毛刷来清理。



#### 4. 加工工件完成后的注意事项

- (1) 清除切屑，擦拭机床，整理工作现场。
- (2) 在手动方式下，将各坐标轴置于数控机床行程的中间位置。
- (3) 按关机顺序关闭数控铣床和总电源。
- (4) 将刀具、量具、工具放在指定位置。

### 1.2.7 数控铣床的日常维护和保养

数控铣床（加工中心）是集机、电、液于一体，自动化程度高、结构复杂且价格昂贵的先进设备。为充分发挥其效益，必须做好日常性的维护和保养工作，使数控系统少出故障，即设法提高系统的平均无故障时间。主要的维护和保养工作有以下内容：

(1) 数控铣床（加工中心）操作人员应熟悉所用设备的机械、数控装置、液压、气动等部分以及规定的使用环境（加工条件）等，并要严格按机床及数控系统使用说明手册的要求正确、合理地使用，尽量避免因操作不当而引起故障。例如，对操作人员，要求必须了解机床的行程大小、主轴的转速范围、主轴驱动电动机的功率、工作台面大小、工作台承载能力大小、机动进给时的速度、ATC 所允许最大刀具尺寸、最大刀具重量等。

(2) 在操作前必须确认主轴润滑油和导轨润滑油是否符合要求。如果润滑油不足，应按要求的牌号、型号加入适当的润滑油。同时，要确认气压压力是否正常。

(3) 空气过滤器的清扫。如果数控装置的空气过滤器灰尘积累过多，会使柜内冷却空气流通不畅，引起柜内温度过高而使系统不能可靠工作。因此，应根据周围环境状况，定期检查清扫。电气柜内电路板和电气部件上有灰尘、油污时，也应及时清扫。

(4) 定期检查电气部件。检查各插头、插座、电缆、各继电器的触点是否出现接触不良、断线和短路等故障。

(5) 定期更换存储器电池。零件程序、偏置数据和系统参数存在控制单元的 CMOS 存储器中，分离型绝对脉冲编码器的当前位置信息等内容，在关机时靠电池供电保持，当电池电压降到一定值时，可能会造成参数丢失。因此，要定期检查电池电压。更换电池时一定要在数控系统通电状态下进行。

(6) 长期不用的数控机床的保养。在数控系统长期闲置不用时，应经常给数控系统通电，在机床锁住的情况下，使其空运行。在空气湿度较大的梅雨季节应该天天通电，利用电气元件本身发热驱除数控柜内的潮气，以保证电子元器件的性能稳定可靠。

(7) 数控铣床（加工中心）定期检查，具体检查周期、项目及检查要求如表 1-3 所示。

表 1-3 日常检查要求

周 期	检 查 项 目	检 查 要 求
每天	导轨润滑油箱	检查油量，及时添加润滑油，检查润滑油泵是否定时启动打油及停止
每天	主轴润滑系统	检查工作是否正常，油量是否充足，油温是否合适
每天	机床液压系统	检查工作油面高度是否合适，压力表指示是否正常，管路及各接头有无泄漏，过滤器是否清洁等
每天	气压系统	检查气动控制系统压力是否在正常范围之内



续表

周 期	检 查 项 目	检 查 要 求
每天	各防护装置	检查机床防护罩是否齐全、有效
每天	电气柜散热通风装置	检查各电气柜中的冷却风扇是否工作正常，风道过滤网有无堵塞，及时清理过滤器
每周	机床移动部件	清除铁屑及外部杂物，检查机床各移动部件运动是否正常
每月	电源电压	测量电源电压是否正常，并及时调整
每季度	机床精度	按手册中的要求，检查机床精度、机床水平，并及时调整
每半年	液压系统	清洗溢流阀、减压阀、滤油器、油箱，更换新油
每半年	主轴润滑系统	清洗过滤器、油箱，更换润滑油
每半年	冷却油泵、过滤器	清洗冷却油池，更换过滤器
每半年	滚珠丝杠	清洗丝杠上的旧润滑脂，涂上新油脂

### 1.3 任务实施

将实训学生分成若干小组，每组 3~5 人，选出或指定一名组长。组长全面负责本组人员的操作安排，并协助指导教师对每名学生进行考核和监督。小组各成员轮流进行实际操作。

#### 1.3.1 面板操作

##### 1. 机床准备操作

按照要求，执行开机、回零、MDI 方式下的主轴正转等操作，注意观察显示器显示信息和指示灯状态。

##### 2. 工作台和主轴移动操作

手动方式下，分别按 3 个坐标轴的正负方向键，移动工作台和主轴，并尝试改变进给倍率、主轴倍率、快速倍率，观察工作台移动状态。手摇方式下，分别顺时针和逆时针旋转手动脉冲发生器，并尝试改变坐标轴和手摇倍率，观察机床工作台和主轴的移动状态。

##### 3. 程序录入

在编辑方式下，录入任务中给定的程序，并对程序进行编辑修改。

##### 4. 图形模拟

自动方式下，按下机床锁住和空运行按钮，显示器切换到图形模拟画面，按下循环启动按钮运行程序，观察模拟轨迹。模拟完成后，解除机床锁住和空运行功能，并执行回零操作。





### 1.3.2 对刀操作

#### 1. 对刀

各小组成员轮流进行试切法对刀或利用光电式（或机械式）寻边器对刀。

#### 2. 验证

对刀完成后，在 MDI 模式下，输入程序段“G90 G54 G00 X0 Y0 Z50;”，将光标移动到开头，把进给倍率和快速倍率调到最低，按下自动运行键，观察刀具移到的位置，验证对刀数据是否正确。

## 1.4 考核评价

组长协助教师填写“考核评分表”，见表 1-4。对每位同学的任务实施情况进行成绩评定。

表 1-4 项目一考核评分表

零 件 名 称		操 作 人 员		完 成 工 时		
序号	鉴定项目及标准		配分	评分标准（扣完为止）	检查结果	得分
1	任务 实施	面板操作	10	根据熟练程度得分		
2		程序录入与编辑	10	根据熟练程度得分		
3		图形模拟	10	按时完成图形模拟得满分，超时适当扣分		
4		工件安装	5	装夹方法不正确扣 5 分		
5		刀具安装	5	刀具装夹不正确扣 5 分		
6		量具使用	5	量具使用不正确每处扣 1 分		
7		安全操作	10	每出现一次不安全因素扣 5 分		
8		试切对刀	10	根据操作熟练程度得分		
9		中心对刀	10	根据操作熟练程度得分		
10		寻边器对刀	10	根据操作熟练程度得分		
11		对刀正确性	10	对刀不准确每次扣 5 分		
12		文明生产	5	撞刀、未清理机床和保养设备扣 5 分		
合计			100			
考核结果（教师填）						
记分员				时间	年    月    日	

## 1.5 探究与拓展

### 1.5.1 问题探究

根据图 1-22 和图 1-23 的提示，各小组成员之间相互探讨，并亲自动手验证，看能否利用百分表进行准确对刀。如果可以，则在圆柱形外表面和内表面上该如何对刀？在长方体表面上呢？将探究结果整理汇总并上交，作为小组成员的考核项目之一。

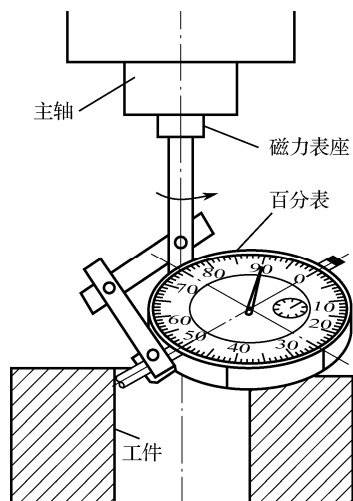


图 1-22 柱形表面百分表对刀

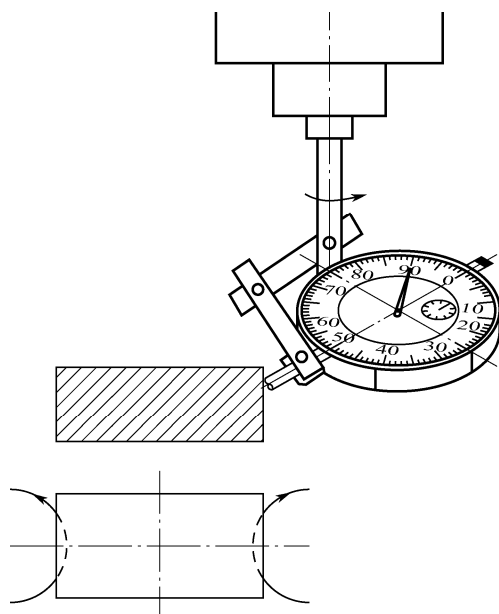


图 1-23 长方体表面百分表对刀

## 1.5.2 知识拓展——企业现场管理 6S (HSE) 制度

20 世纪,日本丰田公司提出倡导并实施 5S 管理,1987 年中国企业开始引进 5S 管理。2000 年,在 5S 的基础上,由朱镕基总理签署了“安全”管理,随后中国企业就将“安全”纳入 5S 管理内容,因而形成了今天的 6S 管理。“6S”指的是日语的罗马拼音 SEIRI (整理)、SEITON (整顿)、SEISO (清扫)、SEIKETSU (清洁)、SHITSUKE (素养) 及英语 SAFETY (安全) 这 6 项,因为 6 个单词的第一个字母都是“S”,所以统称为“6S”。它是在生产现场对人员、机器、材料、行为、环境等生产要素进行有效管理的一种方法。

**SEIRI (整理):** 就是按物品的使用频率,以取用方便为原则,以把寻找物品的时间缩短为 0 s 为目标,将人、事、物在空间和时间上进行合理安排。这是开始改善现场的第一步,也是 6S 中最重要的一步。如果整理工作没做好,以后的 4 个 S 便如同在沙土上建起的城堡一般不牢靠。这项工作的重点在于培育心理强度,坚决将现场不需要的物品彻底清理出去。现场无不常用物,行道畅通,减少了磕碰和可能的错拿错用,这样既可以保证工作效果,还可以提高工作效率,更重要的是可以保障现场的工作安全。所以有的公司就提出口号:效率和安全的始于整理!

**SEITON (整顿):** 在整理的基础上再把需要的人、事、物加以定量、定位,创造一个一目了然的现场环境。将现场物品按照方便取用的原则进行合理摆放后,操作中的对错便更易于控制和掌握,有利于提高工作效率,保证产品品质,保障生产安全。

**SEISO (清扫):** 认真进行现场、设备仪器和管道的卫生清扫,在一个干干净净的环境中,通过设备点检、管道巡视,便能迅速发现异常现象并及时处理,使之恢复正常。这是发现和治理安全隐患的重要方法,也是“安全第一,预防为主”方针的最好落实和贯彻。



## 项目1 数控铣床（加工中心）面板应用

清扫工作之所以如此必要，是因为在生产过程中产生的灰尘、油污、铁屑、垃圾等，会使现场变脏，污染设备管道，导致设备精度降低，故障多发，影响产品质量，使安全事故防不胜防；脏的现场更会影响员工的工作情绪，产生懈怠、麻痹思想，从而不够认真，操作出现失误，排障不彻底、不及时，导致安全事故的发生。因此，必须通过清扫活动来清除脏污，营造一个明快、舒畅、高效的工作现场。

**SEIKETSU（清洁）：**为保持、维护整理、整顿、清扫的成果，使现场保持安全生产的适宜状态，引入被赋予全新内涵的“清洁”概念，即通过将前三项活动制度化来坚持和深入现场的管理改善，从而更进一步地消除发生安全事故的根源，即为“治本”，以创造一个以人为本的工作环境，使员工能愉快无忧地工作。

**SHITSUKE（素养）：**素养即平日之修养，指正确的待人接物处事的态度。实验得出结论：一种行为被多次重复就有可能成为习惯。通过制度化的现场管理改善推进，规范员工行为，培养良好职业风范，并辅以自觉自动工作生活的文化宣导，达到全面提升员工素养的境界。培养工作、安全无小事的认真态度，有制度就严格按制度行事的职业风范，持续改善的进取精神，已成为“6S”管理螺旋式上升循环永远的起点和终点。在具有这样高素养员工的组织中，关注细节，持续改善，寓于无数细节之中的安全，则无一处不在掌控之中了。

**SAFETY（安全）：**以 HSE 管理体系，执行行为准则，建立安全的工厂、科学的管理、安全的设备、安全的工作行为。安全就是消除工作中的一切不安全因素，杜绝一切不安全现象。就是要求在工作中严格执行操作规程，严禁违章作业，时刻注意安全，时刻注重安全。

### 1.5.3 拓展训练

在教师指导下，进行面板操作和对刀操作，直到能够熟练、准确地进行独立操作为止。



# 项目2

## 数控铣削仿真加工

### 【项目导读】

数控仿真是应用计算机技术对数控加工操作过程进行模拟仿真的一门新技术。该技术面向实际生产过程的机床，通过三维动态的逼真再现，能使每一个学生数控加工建立感性认识，可以反复动手进行数控加工操作，有效解决了因数控设备昂贵和有一定危险性，很难做到每位学生“一人一机”的问题。本项目以宇龙数控仿真软件为例，全面介绍了该软件的系统选择、刀具选用、毛坯定制、对刀、程序编辑及模拟加工等，使学生能熟练掌握软件应用。

### 【知识目标】

1. 掌握宇龙仿真软件的基本操作。
2. 完成指定零件的模拟铣削加工。

### 【能力目标】

1. 熟练掌握宇龙仿真软件的各菜单、图标的含义及应用。
2. 熟练运用宇龙仿真软件进行程序的输入、编辑和仿真加工。
3. 通过仿真训练，全面提高实际机床的操作水平。

### 【素质目标】

1. 通过电脑开机床，更新同学们的传统理念，激发学习现代信息技术的兴趣。
2. 通过一人一岗，培养同学们独立解决问题的能力。



## 2.1 工作任务

根据给定程序，在宇龙仿真系统中完成如图 2-1 所示零件的加工仿真。

```

O0002;
G90 G40 G49;
G54 G00 X50 Y20 Z50;
M03 S800;
G42 G01 X27.5 Y21.615 F60 D01;
G01 Z-5 F60;
X5 Y34.641;
G03 X-32.5 Y12.990 R25;
G01 Y12.990;
G03 X5 Y-34.641 R25;
G01 X27.5 Y-21.651;
G03 Y21.651 R25;
G01 G40X30 Y40;
G00 Z50;
M05;
M30;
    
```

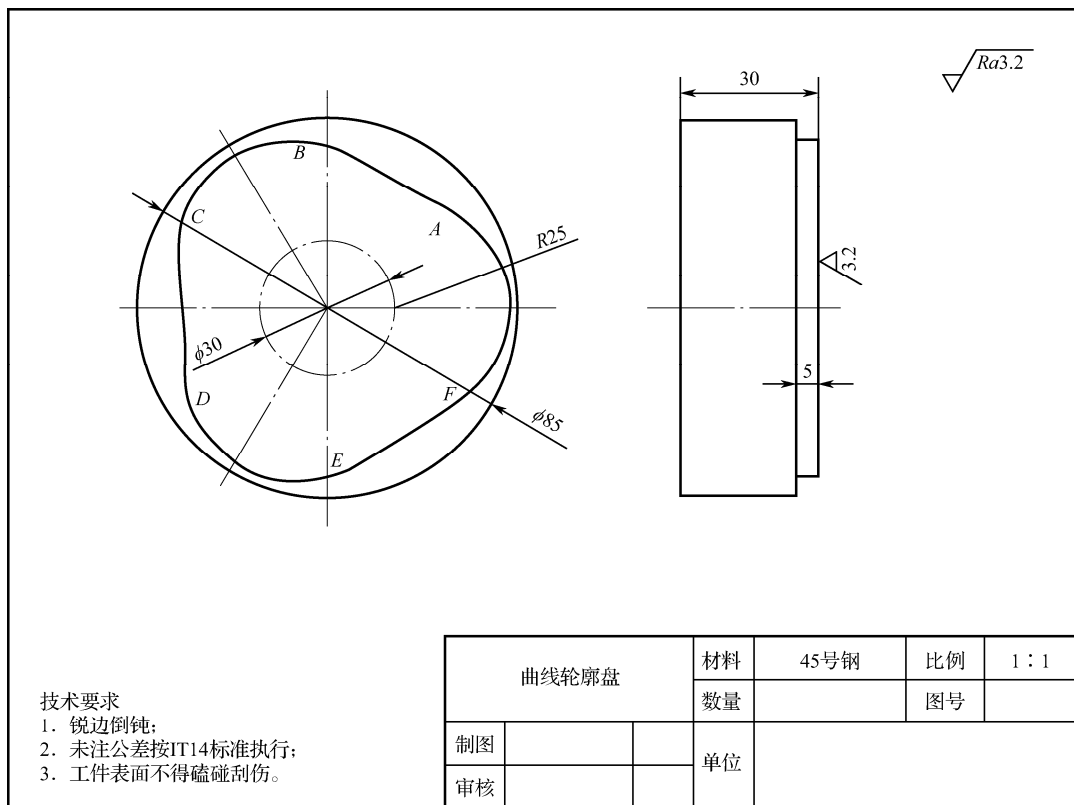


图 2-1 曲线轮廓盘零件图

## 2.2 相关知识


### 2.2.1 数控仿真软件的进入和退出

#### 1. 启动加密锁管理程序

依次单击“开始”→“程序”→“数控加工仿真系统”→“加密锁管理程序”，如图 2-2



所示，启动加密锁管理程序。

加密锁管理程序启动后，在屏幕右下方的工具栏中将出现“”图标。

## 2. 运行数控加工仿真系统

依次单击“开始”→“程序”→“数控加工仿真系统”→“数控加工仿真系统”，将弹出如图 2-3 所示的用户登录界面。




图 2-2 启动加密锁管理程序



图 2-3 用户登录界面

此时，可以通过单击“快速登录”按钮进入数控加工仿真系统的操作界面，或通过输入用户名和密码，再单击“登录”按钮，进入数控加工仿真系统。

在局域网内使用本软件时，必须按上述方法先在教师机上启动“加密锁管理程序”。等到教师机屏幕右下方的工具栏中出现“”图标后，才可以在学生机上依次单击“开始”→“程序”→“数控加工仿真系统”→“数控加工仿真系统”登录到软件的操作界面。

## 3. 输入用户名与密码

用户名: guest; 密码: guest。一般情况下，通过单击“快速登录”按钮登录即可。

## 4. 退出系统

单击宇龙仿真软件窗口的“关闭”按钮，退出宇龙仿真软件。

## 2.2.2 机床系统及毛坯的选择

### 1. 选择机床

执行菜单命令“机床”→“选择机床...”，在“选择机床”对话框中选择控制系统类型和相应的机床并单击“确定”按钮，此时界面如图 2-4 所示。

### 2. 视图选项设置

执行菜单命令“视图”→“选项”，打开如图 2-5 所示的对话框，可对视图选项进行设置。



图 2-4 “选择机床”对话框

### 3. 定义毛坯


执行菜单命令“零件”→“定义毛坯”，或在工具条上选择“”，打开如图 2-6 所示的“定义毛坯”对话框。



图 2-5 对视图选项进行设置

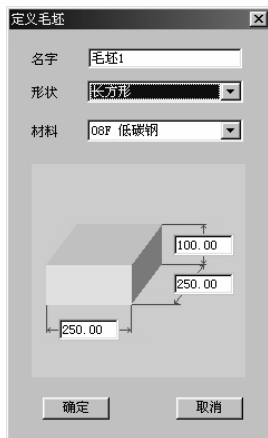



图 2-6 “定义毛坯”对话框

- (1) 名字输入：在毛坯名字输入框内输入毛坯名，也可使用默认值。
- (2) 选择毛坯形状：铣床、加工中心有长方形毛坯和圆柱形毛坯两种形状的毛坯供选择。可以在“形状”下拉列表中选择毛坯形状。
- (3) 选择毛坯材料：毛坯材料列表框中提供了多种供加工的毛坯材料，可根据需要在“材料”下拉列表中选择毛坯材料。
- (4) 参数输入：尺寸输入框用于输入尺寸。
- (5) 保存退出：单击“确定”按钮，保存定义的毛坯并且退出本操作。
- (6) 取消退出：单击“取消”按钮，退出本操作。

### 4. 选择夹具

执行菜单命令“零件”→“安装夹具”，或者在工具条上单击图标，打开操作框。



首先在“选择零件”列表框中选择毛坯，然后在“选择夹具”列表框中选择夹具，长方体零件可以使用工艺板或平口钳，圆柱形零件可以选择工艺板或卡盘，如图 2-7 所示。

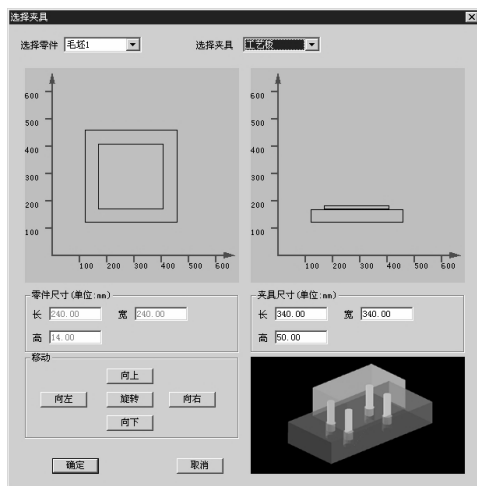


图 2-7 选择夹具

“夹具尺寸”输入框显示的是系统提供的尺寸，用户可以修改工艺板的尺寸。各个方向的“移动”按钮供操作者调整毛坯在夹具上的位置。铣床和加工中心可以不使用夹具，将工件直接放在机床台面上。

## 5. 放置零件


执行菜单命令“零件”→“放置零件”，或者在工具条上单击图标，弹出操作对话框，如图 2-8 所示。



图 2-8 放置零件

在列表中单击所需的零件，选中的零件信息加亮显示，单击“安装零件”按钮，系统自动关闭对话框，零件和夹具（如果已经选择了夹具）将被放到机床上。对于卧式加工中心，还可以在上述对话框中选择是否使用角尺板。如果选择使用角尺板，则在放置零件时角尺板同时出现在机床台面上。

如果进行过“导入零件模型”的操作，则对话框的零件列表中会显示模型文件名；若在类型列表中选择“选择模型”，则可以选择导入零件模型文件，如图 2-9 所示。选择的零





图 2-9 导入零件

件模型即经过部分加工的成型毛坯被放置在机床台面或卡盘上。

## 6. 调整零件位置

零件可以在工作台面上移动。毛坯放上工作台后，系统将自动弹出一个“小键盘”，如图 2-10 所示。

通过按动小键盘上的方向按钮，实现零件的平移或旋转。小键盘上的“退出”按钮用于关闭小键盘。执行菜单命令“零件”→“移动零件”也可以打开小键盘。请在执行其他操作前关闭小键盘。

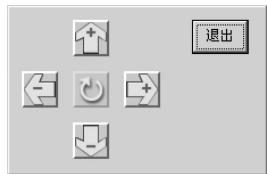


图 2-10 小键盘

## 7. 使用压板

当使用工艺板或者不使用夹具时，可以使用压板。

### (1) 安装压板

执行菜单命令“零件”→“安装压板”，打开“选择压板”对话框，如图 2-11 所示。

对话框中列出各种安装方案，可以拉动滚动条浏览全部许可的方案。选择所需要的安装方案，单击“确定”按钮，压板将出现在台面上。

在“压板尺寸”栏可更改压板长、高、宽尺寸。

### (2) 移动压板

执行菜单命令“零件”→“移动压板”，弹出小键盘，操作者可以根据需要平移压板（但是不能旋转压板）。首先用鼠标选择需移动的压板，被选中的压板变成灰色；然后按动小键盘中的方向按钮操纵压板移动，如图 2-12 所示。执行菜单命令“零件”→“拆除压板”，将拆除全部压板。



图 2-11 “选择压板”对话框

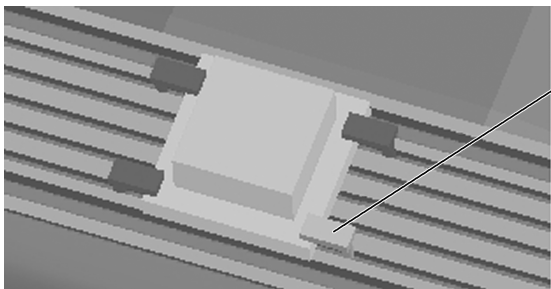


图 2-12 移动压板



## 2.2.3 数控铣床刀具选择

执行菜单命令“机床”→“选择刀具”，打开“选择铣刀”对话框，如图 2-13 所示。



图 2-13 “选择铣刀”对话框

### 1. 按条件列出工具清单

(1) 在“所需刀具直径”输入框内输入直径，如果不把直径作为筛选条件，则输入数字“0”。

(2) 在“所需刀具类型”选择列表中选择刀具类型。可供选择的刀具类型有平底刀、平底带 R 刀、球头刀、钻头、镗刀等。

(3) 单击“确定”按钮，符合条件的刀具在“可选刀具”列表中显示，如图 2-13 所示。

### 2. 选择需要的刀具

单击“可选刀具”列表中所需刀具，选中刀具对应显示在“已经选择的刀具”列表中。

### 3. 输入刀柄参数

操作者可以按需要输入刀柄参数。有直径和长度两个参数，总长度是刀柄长度与刀具长度之和。

### 4. 删除当前刀具

单击“删除当前刀具”按钮可删除此时“已经选择的刀具”列表中光标所在行的刀具。

### 5. 确认选刀

选择完全部刀具，单击“确认”按钮完成选刀操作。或者单击“取消”按钮退出选刀操作。



## 2.2.4 FANUC Oi 标准铣床面板操作



FANUC Oi 系统数控铣床标准面板如图 2-14 所示。





图 2-14 数控铣床标准面板




### 1. 机床准备




单击“启动”按钮，此时机床电机和伺服控制的指示灯变亮。

检查“急停”按钮是否松开至状态，若未松开，单击“急停”按钮，将其松开。

### 2. 机床回参考点

检查操作面板上回原点指示灯是否亮，若指示灯亮，则已进入回原点模式；若指示灯不亮，则单击“回原点”按钮，转入回原点模式。

在回原点模式下，先将 Z 轴回原点，单击操作面板上的“Z 轴选择”按钮，使 Z 轴方向移动指示灯变亮，单击按钮，此时 Z 轴将回原点，Z 轴回原点灯变亮，CRT 上的 Z 坐标变为“0.000”。

同样，再分别单击 X 轴、Y 轴方向按钮、，使指示灯变亮，单击按钮，此时 X 轴、Y 轴将回原点，X 轴、Y 轴回原点灯变亮。此时 CRT 界面如图 2-15 所示。

### 3. 对刀

所谓对刀，就是找到工件坐标系在机床坐标系中的位置。

一般情况下，通常把工件上表面中心点设为工件坐标系原点。

#### 1) 刚性靠棒 X、Y 轴对刀

刚性靠棒采用检查塞尺松紧的方式对刀，具体过程如下：

(1) 执行菜单命令“机床”→“基准工具...”，弹出“基准工具”对话框，左边是刚性靠棒基准工具，右边是寻边器，如图 2-16 所示。



图 2-15 回参考点结束

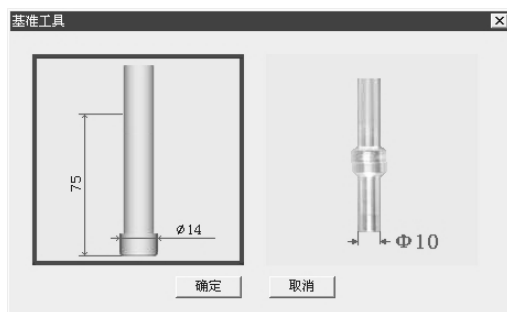

















图 2-16 “基准工具”对话框

(2) 下面进行 X 轴方向对刀。单击操作面板中的“手动”按钮, 手动状态灯亮, 进入“手动”方式。

(3) 单击 MDI 键盘上的, 使 CRT 界面上显示坐标值; 借助“视图”菜单中的动态旋转、动态缩放、动态平移等工具, 适当单击, , 按钮和, 按钮, 将机床移动到如图 2-17 所示的大致位置。

(4) 移动到大致位置后, 可以采用手轮调节方式移动机床, 执行菜单命令“塞尺检查”→“1 mm”, 基准工具和零件之间被插入塞尺。在机床下方显示如图 2-16 所示的局部放大图 (紧贴零件的物件为塞尺)。

(5) 单击操作面板上的“手动脉冲”按钮, 使手动脉冲指示灯变亮, 采用手动脉冲方式精确移动机床。单击按钮显示手轮, 将手轮对应轴旋钮置于 X 挡, 调节手轮进给速度旋钮, 在手轮上单击鼠标左键或右键精确移动靠棒, 使得提示信息对话框显示“塞尺检查的结果: 合适”, 如图 2-17 所示。

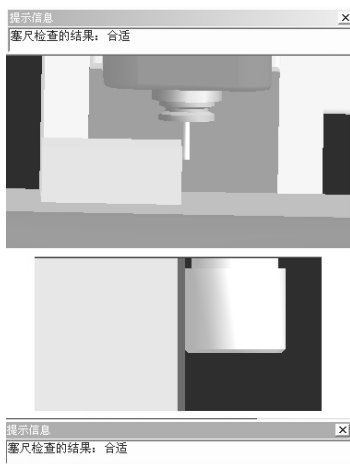






图 2-17 刚性靠棒对刀

(6) 坐标值数据的输入, 见项目一对刀的操作, 此处不再赘述。

采用同样的方法可得到 Y 方向坐标值。



(7) 完成 X、Y 方向对刀后, 执行菜单命令“塞尺检查”→“收回塞尺”将塞尺收回, 单击“手动”按钮, 手动灯亮, 机床转入手动操作状态, 单击和按钮, 将 Z 轴提起, 再执行菜单命令“机床”→“拆除工具”拆除基准工具。







## 2) 机械式寻边器 X、Y 轴对刀

寻边器由固定端和测量端两部分组成。固定端由刀具夹头夹持在机床主轴上, 中心线与主轴轴线重合。在测量时, 主轴以 400 r/min 的速度旋转。通过手动方式, 使寻边器向工件基准面移动靠近, 让测量端接触基准面。在测量端未接触工件时, 固定端与测量端的中心线不重合, 两者呈偏心状态。当测量端与工件接触后, 偏心距减小, 这时使用点动方式或手轮方式微调进给, 寻边器继续向工件移动, 偏心距逐渐减小。在测量端和固定端的中心











心线重合的瞬间，测量端会明显地偏出，出现明显的偏心状态。这时主轴中心位置距离工件基准面的距离等于测量端的半径。

(1) 进行 X 轴方向对刀。单击操作面板中的“手动”按钮，手动灯亮，系统进入“手动”方式。

(2) 单击 MDI 键盘上的使 CRT 界面显示坐标值；借助“视图”菜单中的动态旋转、动态缩放、动态平移等工具，适当单击操作面板上的、、和、按钮，将机床移动到大致位置。

(3) 在手动状态下，单击操作面板上的或按钮，使主轴转动。未与工件接触时，寻边器测量端大幅度晃动。

(4) 移动到大致位置后，可采用手动脉冲方式移动机床，单击操作面板上的“手动脉冲”按钮或，使手动脉冲指示灯变亮，采用手动脉冲方式精确移动机床，单击按钮显示手轮控制面板，将手轮对应轴旋钮置于 X 档，调节手轮进给速度旋钮，在手轮上单击鼠标左键或右键精确移动寻边器。寻边器测量端晃动幅度逐渐减小，直至固定端与测量端的中心线重合，如图 2-18 左图所示。若此时用增量或手轮方式以最小脉冲当量进给，寻边器的测量端突然大幅度偏移，如图 2-18 右图所示，即认为此时寻边器与工件恰好吻合。

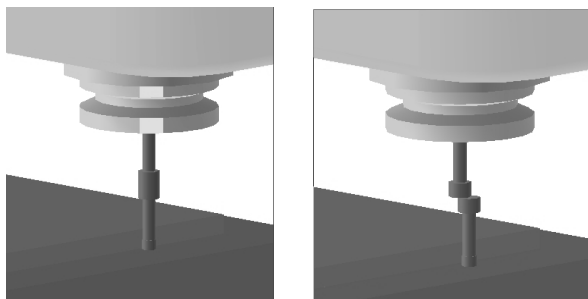




图 2-18 机械式寻边器对刀


(5) 数据的输入同上。



(6) 采用同样的方法可得到 Y 方向坐标值。






(7) 完成 X、Y 方向对刀后，单击和按钮，将 Z 轴提起，停止主轴转动，再执行菜单命令“机床”→“拆除工具”拆除基准工具。

### 3) 塞尺法 Z 轴对刀

铣床 Z 轴对刀时采用实际加工时所要使用的刀具。

(1) 执行菜单命令“机床”→“选择刀具”或单击工具条上的小图标，选择所需刀具。

(2) 装好刀具后，单击操作面板中的“手动”按钮，手动状态指示灯亮，系统进入“手动”方式。

(3) 利用操作面板上的、、和、按钮，将机床移到如图 2-19 右图所示的大致位置。

(4) 类似在 X、Y 方向对刀的方法进行塞尺检查，得到“塞尺检查的结果：合适”时 Z 的坐标值，记为 Z1，如图 2-19 左图所示。

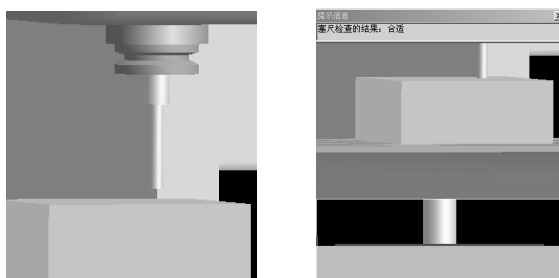


图 2-19 塞尺 Z 轴对刀









此时，找到设置偏置界面中的 G54，把光标移动到 Z，然后输入 Z0，按软键“测量”，再输入负的塞尺厚度（即-1.0），按软键“+输入”即可。

#### 4) 试切法 Z 轴对刀











对刀方法见项目一试切法对刀，此处不再赘述。

### 4. 手动操作




#### 1) 手动/连续方式

- (1) 单击操作面板上的“手动”按钮，使其指示灯亮，机床进入手动模式。
- (2) 分别单击、、按钮，选择移动的坐标轴。
- (3) 分别单击、按钮，控制机床的移动方向。
- (4) 单击按钮控制主轴的转动和停止。



#### 2) 手动脉冲方式


- (1) 在手动/连续方式或在对刀时需精确调节机床时，可用手动脉冲方式调节机床。
- (2) 单击操作面板上的“手动脉冲”按钮或，使指示灯变亮。
- (3) 单击按钮，显示手轮.
- (4) 鼠标对准“轴选择”旋钮，单击左键或右键，选择坐标轴。
- (5) 鼠标对准“手轮进给速度”旋钮，单击左键或右键，选择合适的脉冲当量。
- (6) 鼠标对准手轮，单击左键或右键，精确控制机床的移动。
- (7) 单击按钮控制主轴的转动和停止。
- (8) 单击按钮，可隐藏手轮。

#### 3) 自动/连续方式

- (1) 检查机床是否回零，若未回零，先将机床回零。
- (2) 导入数控程序或自行编写一段程序。
- (3) 单击操作面板上的“自动运行”按钮，使其指示灯变亮。
- (4) 单击操作面板上的“循环启动”按钮，程序开始执行。

数控程序在运行过程中可根据需要暂停、停止、急停和重新运行。

数控程序在运行时，单击“进给保持”按钮，程序停止执行；再单击按钮，程序从暂停位置开始执行。

数控程序在运行时，单击“循环停止”按钮，程序停止执行；再单击按钮，程序





从开头重新执行。


数控程序在运行时，单击“急停”按钮，数控程序中断运行；继续运行时，先将“急停”按钮松开，再单击按钮，余下的数控程序从中断行开始作为一个独立的程序执行。


### 4) 自动/单段方式

(1) 检查机床是否回零，若未回零，先将机床回零。


(2) 导入数控程序或自行编写一段程序。

(3) 单击操作面板上的“自动运行”按钮，使其指示灯变亮。



(4) 单击操作面板上的“单节”按钮。


(5) 单击操作面板上的“循环启动”按钮，程序开始执行。

自动/单段方式执行每一行程序均需单击一次“循环启动”按钮。

单击“单节跳过”按钮，则程序运行时跳过符号“/”有效，该行成为注释行，不执行。







单击“选择性停止”按钮，则程序中 M01 有效。

可以通过“主轴倍率”旋钮和“进给倍率”旋钮来调节主轴旋转的速度和移动的速度。

按键可将程序重置。

### 5) 检查运行轨迹

NC 程序导入后，可检查运行轨迹。

单击操作面板上的“自动运行”按钮，使其指示灯变亮，转入自动加工模式；单击 MDI 键盘上的按钮，单击数字/字母键，输入“Ox”（x 为所需要检查运行轨迹的数控程序号），按键开始搜索，找到后，程序显示在 CRT 界面上。单击按钮，进入检查运行轨迹模式，单击操作面板上的“循环启动”按钮，即可观察数控程序的运行轨迹。此时也可通过“视图”菜单中的动态旋转、动态缩放、动态平移等方式对三维运行轨迹进行全方位的动态观察。

## 5. 数控程序处理



导入 NC 程序，编辑状态指示灯变亮，此时进入编辑状态。单击 MDI 键盘上的，单击操作面板上的编辑按钮，CRT 界面转入编辑页面，按软键“操作”，在出现的下级子菜单中按软键，可见软键“F 检索”，按此软键，在弹出的对话框中选中所需要的 NC 程序，如图 2-20 所示，单击“打开”按钮确认。



图 2-20 导入程序



在同一级菜单中，按软键[ READ ] “读入”，单击 MDI 键盘上的数字、字母键，输入“O1111”，按软键[EX-EDT]，则数控程序 O1111 显示在 CRT 界面上。

编辑、管理等操作同项目一中的相关内容，本节不再赘述。

6. 仿真结果保存

执行菜单命令“文件”→“保存项目”，在图 2-21 所示对话框中选中要保存的类型，单击“确定”按钮保存。

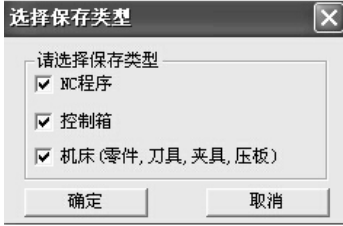


图 2-21 仿真结果保存设置

2.3 任务实施

- (1) 启动宇龙仿真系统，选择 FANUC 0i 标准铣床。
- (2) 开启机床，执行回零操作。
- (3) 定义直径 $\phi 85$  mm、高度 30 mm 的圆柱毛坯，选择卡盘夹具。
- (4) 选择 $\phi 20$  mm 立铣刀，并安装到主轴上。
- (5) 采用机械式寻边器对刀。
- (6) 导入或输入程序 O0002。
- (7) 运行加工程序，完成仿真加工。
- (8) 保存仿真结果。

2.4 考核评价

组长协同指导教师根据学生仿真情况填写“考核评分表”，见表 2-1，并对每个学生进行成绩评定。

表 2-1 项目二考核评分表

零件名称		操作人员		完成工时		
序号	鉴定项目及标准		配分	评分标准（扣完为止）	检查结果	得分
1	任务实施	机床选择	2	机床选择不正确扣 2 分		
2		毛坯定义与工件安装	5	毛坯定义不正确扣 2 分，工件安装不正确扣 5 分		
3		刀具选择与安装	5	刀具选择不正确或装夹不正确扣 5 分		





续表

零件名称			操作人员		完成工时		
序号	鉴定项目及标准		配分	评分标准（扣完为止）		检查结果	得分
4	任务 实施	程序录入	8	程序录入不正确每处扣 1 分			
5		对刀操作	12	对刀不正确每次扣 4 分			
6		零件加工过程	5	加工不连续，每终止一次扣 1 分			
7		仿真结果的保存	3	未保存或保存错误扣 3 分			
8		完成工时	5	每超时 5 min 扣 1 分			
9		文明生产	5	撞刀一次扣 2 分，未保养设备一次扣 1 分			
10		外形	25	能够加工出外形得 25 分			
11		表面粗糙度	25	保证表面粗糙度得 25 分			
合计			100				
考核结果（教师填）							
记分员				时间		年 月 日	

## 2.5 探究与拓展

### 2.5.1 问题探究

对仿真加工中可能遇到的各种问题进行分析，找出原因和解决方案，并填表 2-2。课后以小组为单位上交。

表 2-2 出错原因分析表

序号	现象	原因分析
1	打开仿真后不能动	
2	程序无法输入	
3	出现撞刀现象	
4	加工到一半停并显示出错	
5	撞刀或误操作后无法继续操作	

### 2.5.2 知识拓展——企业安全生产教育

#### 1. 企业安全生产教育的内容

安全生产教育一般分为思想教育、法规教育和安全技术教育，主要内容如下：

（1）思想教育，主要是正面宣传安全生产的重要性，选取典型事故进行分析，从事故的政治影响、经济损失、个人受害后果几个方面进行教育。



(2) 法规教育，主要是学习上级有关文件、条例、本企业已有的具体规定、制度和纪律条文。

(3) 安全技术教育，包括生产技术一般安全技术的教育和专业安全技术的训练。其内容主要是本厂安全技术知识、工业卫生知识和消防知识，本班组动力特点、危险地点和设备安全防护注意事项；电气安全技术和触电预防；急救知识；高温、粉尘、有毒、有害作业的防护；职业病原因和预防知识；运输安全知识；保健仪器及防护用品的发放、管理和正确使用知识等。专业安全技术的训练是指对锅炉等压力容器，电、气焊接，易燃、易爆，化工有毒、有害，微波及射线辐射等特殊工种进行的专门安全知识和技能训练。

### 2. 企业安全生产教育的主要形式和方法

安全生产教育的主要形式有“三级教育”、“特殊工种教育”和“经常性的安全宣传教育”等形式。

三级教育：在工业企业所有伤亡事故中，由于新工人缺乏安全知识而造成的事故发生率一般为 50% 左右，所以对新工人、来厂实习人员和调动工作的工人，要实行厂级、车间、班组三级教育。其中，班组安全教育包括：介绍本班安全生产情况、生产工作性质和职责范围、各种防护及保险装置的作用、容易发生事故的设备 and 操作注意事项。经常性的宣传教育可以结合本企业本班组具体情况，采取各种形式，如安全活动日、班前班后会、安全交底会、事故现场会、班组园地或板报等方式进行宣传。

### 2.5.3 拓展训练

将教材中其他项目给出的程序进行仿真训练。



# 项目3

## 平面铣削加工

### 【项目导读】

平面是组成零件的最基本要素，平面铣削加工是数控铣削实训中需要首先掌握的最基本的操作技能，平面加工主要保证平面度和表面粗糙度。本项目以铣削方形毛坯的6个表面为例，介绍数控程序的编制、数控铣刀的材料及选用、基本量具的使用、常用指令的含义及格式等内容，为复杂零件的编程和加工奠定基础。

### 【知识目标】

1. 掌握程序的格式及简单程序的编制。
2. 了解铣刀的材料、分类及特点。
3. 掌握游标卡尺的读数方法。
4. 掌握 G90、G54、G00、G01 等准备功能代码的含义。
5. 掌握 M03、M02、M30 等辅助功能代码的含义。
6. 掌握进给功能代码 F、转速功能代码 S 的含义。
7. 了解铣削加工工艺的基本知识。

### 【能力目标】

1. 能够利用所学代码编制出简单程序。
2. 能够确定平面的铣削加工工艺。
3. 能够运用自动加工功能独立完成平面的加工。
4. 能够对加工零件进行测量。

### 【素质目标】

1. 培养学生强烈的工作责任心、认真负责的工作态度及团队合作意识，提高职业素养。
2. 加强质量检测，培养同学们的质量意识。



### 3.1 工作任务

零件如图 3-1 所示。毛坯是 105 mm×85 mm×35 mm 铸铝件，本任务要求加工毛坯的 6 个表面，保证最后尺寸为 100 mm×80 mm×30 mm，同时保证表面粗糙度值。

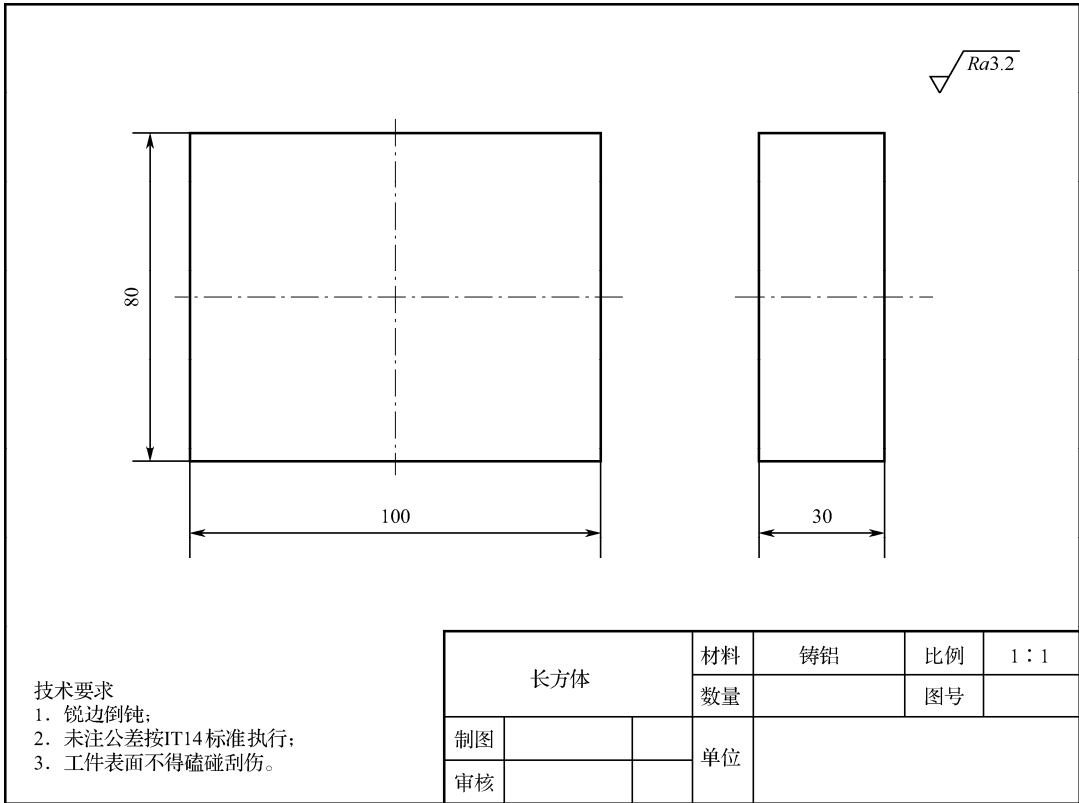


图 3-1 长方体

### 3.2 相关知识

#### 3.2.1 数控铣削编程基础知识

数控编程是数控加工的重要步骤。用数控机床对零件进行加工时，首先对零件进行加工工艺分析，以确定加工方法、加工工艺路线，正确地选择数控机床刀具和装夹方法；然后按照加工工艺要求，根据所用数控系统规定的指令代码及程序格式，将刀具的运动轨迹、位移量、切削参数及辅助功能编写成加工程序单，传送或输入数控装置中，由数控系统控制数控机床自动进行加工。从分析零件图样开始到获得正确的程序载体为止的全过程，称为零件加工程序的编制，简称编程。



### 1. 数控编程的内容和步骤

程序编制包括以下几个方面的内容和步骤:

#### 1) 分析工件图样

通过对工件的材料、形状、尺寸、精度及毛坯形状和热处理的分析,确定该工件是否适宜在数控机床上进行加工,或适宜在哪台数控机床上加工。由于数控机床具有加工精度高、适应性强的特点,一些批量较小、形状较复杂、精度要求高的工件,特别适合在数控机床上加工。

#### 2) 确定工艺过程

在确定加工工艺过程时,编程人员要根据图样对工件的形状、尺寸、技术要求、毛坯等进行详细分析,从而选择加工方案,确定加工顺序、加工路线、定位夹紧,并合理选用刀具和切削用量等。制定数控加工工艺除考虑一般工艺原则外,还应充分考虑所用数控机床的指令功能,充分发挥机床的效能;加工路线要短,正确地选择对刀点、换刀点,减少换刀次数。

#### 3) 数值计算

根据零件的几何尺寸、进给路线及设定的工件坐标系,计算工件粗、精加工刀具各运动轨迹关键点的坐标值。对于形状比较简单的零件的轮廓加工,需要计算出几何元素的起点、终点、圆弧的圆心、两几何元素的交点或切点的坐标值。对于形状比较复杂的零件(如非圆曲线、曲面组成的零件),需用直线段或圆弧段逼近,计算出逼近线段的交点坐标值。由于计算复杂,一般借助计算机和一些绘图软件来完成数值的计算工作。

#### 4) 编写程序单

根据计算出的运动轨迹坐标值和已确定的进给路线、刀具参数、切削参数、辅助动作等,按照数控系统规定的功能指令代码及程序段格式,逐段编写加工程序单。在程序段之前加上程序的顺序号,在其后加上程序段结束标志符号,并附上必要的加工示意图、刀具布置图、零件装夹图和有关的工艺文件。

#### 5) 制备控制介质

将程序单的内容记录在控制介质上,作为数控装置的输入信息。若程序简单,也可直接将其通过键盘输入。

#### 6) 程序检验与试切削

程序单和制备好的控制介质必须经过校验和零件试切后才能正确使用。通常的方法是将控制介质上的内容直接输入数控装置进行机床空运转检查或图形模拟检查,以检查机床运动轨迹的正确性。在运动轨迹检查无误后,还必须进行工件的首件试切。当发现错误时,应进一步分析错误的原因,或修改程序单,或调整刀具补偿尺寸,直到符合图纸规定的精度要求为止。

### 2. 数控编程的方法

目前零件加工程序编制主要采用以下两种方法:手工编程和自动编程



所谓手工编程，是指从分析零件图样、确定加工工艺过程、数值计算、编写零件加工程序单、制备控制介质到程序校验，都由人工完成。这种方式比较简单，容易掌握，适用于零件形状较简单或中等复杂程度、计算量不大的零件的编程，对数控操作人员来说是必须掌握的。

自动编程就是利用计算机专用软件编制数控加工程序的过程，适用于曲线轮廓、三维曲面等用手工编程无法完成或很难完成的复杂型面零件的编程。

自动编程又分为 ATP 语言自动编程和 CAD/CAM 自动编程。

ATP 语言自动编程是指把用 ATP 语言书写的零件加工程序输入计算机，经计算机的 ATP 语言编程系统编译产生刀位文件，然后进行数控后置处理，形成数控系统能够接收的零件数控加工程序的过程。

CAD/CAM 自动编程是指利用 CAD/CAM 技术进行零件设计、分析和造型，并通过后置处理，自动生成加工程序，经过程序校验和修改后，形成加工程序。该方法适用面广、效率高、程序质量好，适用于各类柔性制造系统（FMS）和集成制造系统（CIMS）。

程序编制的一般过程如图 3-2 所示。

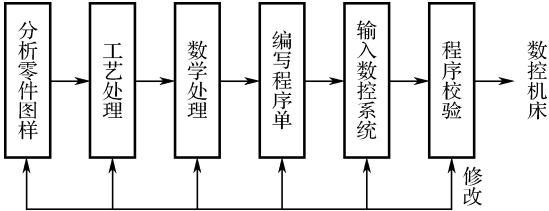


图 3-2 程序编制的一般过程

### 3. 数控加工程序的结构与格式

#### 1) 加工程序的结构

数控加工中，为使机床运行而送到 CNC 的一组指令称为程序，每一个程序都由程序号、程序内容和程序结束符三部分组成，如图 3-3 所示。

O0001;	程序号
G90G54G00X10.0Y10.0Z100.0;	程序段
M03S800;	程序段
Z3.0;	程序段
G01Z-5.0F80;	程序段
.....	.....
.....	.....
.....	.....
M05;	主轴停止
M30;	程序结束符

图 3-3 程序构成

(1) 程序号：程序号为程序的开始部分，为了区别存储器中的程序，每个程序都要有程序编号。在 FANUC 系统中，采用英文字母“O”作为程序编码地址。

(2) 程序内容：程序内容是整个程序的核心，由许多程序段组成，程序段又由若干字组成，每一个字由字母（地址符）和数字组成。即字母和数字组成字，字组成程序段，程



程序段组成程序。

(3) 程序结束符：以程序结束指令 M02 或 M30 作为整个程序结束的符号，来结束整个程序。

## 2) 程序段格式

所谓程序段格式，即指一个程序段中字的排列书写方式和顺序，以及每个字和整个程序段的长度限制和规定。不同的数控系统往往有不同的程序段格式，格式不符合规定，则数控系统不能接收。程序段格式主要有三种，即固定顺序程序段格式、使用分隔符的程序段格式和字地址程序段可变格式。现代数控机床系统广泛采用的程序段格式是字地址程序段可变格式。

字地址程序段可变格式由程序段号字、数据字和程序段结束符组成。每个字的字首是一个英文字母，称为字地址码。常用地址码字符的含义如表 3-1 所示。

表 3-1 常用地址码字符的含义

功 能	代 码	备 注
程序号	O	主程序或子程序号
程序段号	N	顺序号
准备功能	G	定义运动方式
坐标地址	X、Y、Z	基本直线坐标轴尺寸
	U、V、W	附加直线坐标轴尺寸
	A、B、C	绕 X、Y、Z 旋转坐标轴尺寸
	R	圆弧半径值
	I、J、K	圆弧圆心的坐标尺寸
进给速度	F	定义进给速度
主轴转速	S	定义主轴转速
刀具功能	T	定义刀具号
辅助功能	M	机床的辅助动作
偏置号	H、D	半径或长度补偿
重复次数	L、K	循环次数
参数	P、Q、R	固定循环次数
暂停	P、X	暂停时间

字地址可变程序段的格式为：

N—G—X—Y—Z—F—S—T—M—LF

它的特点是：程序段中各字的先后顺序并不严格，但为了编程方便，常按一定的顺序排列，不需要的字以及与上一程序段相同的继续使用的字可以省略，数据的位数可多可少；程序简短、直观、不易出错，因而得到广泛的应用。

## 3) 程序段内各字的说明

(1) 程序段号字 N：用以识别程序段的编号，由地址码 N 和后面的若干位数字组成。例如，N20 表示该程序段的段号为 20。

(2) 准备功能字 G：G 功能是使数控机床做好某种操作准备的指令，用地址 G 和两位



## 数控铣削编程与加工

数字表示，从 G00~G99 共 100 种。

(3) 坐标字：由坐标地址符、+、-符号及数字组成，且按一定的顺序排列。坐标轴地址符的顺序为：X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R、A、B、C。

(4) 进给速度功能字 F：表示刀具中心运动时的进给速度，由地址码 F 和后面若干位数字构成。

(5) 主轴转速功能字 S：由地址码 S 和其后面的若干位数字组成。

(6) 刀具功能字 T：由地址码 T 和其后面的若干位数字组成，刀具功能的数字是指定的刀号，数字的位数由所用的系统决定。

(7) 辅助功能字 M：辅助功能也称 M 功能或 M 代码，它是控制机床或系统的开关功能的一种命令，由地址码 M 和后面的两位数字组成，从 M00~M99 共 100 种。

(8) 程序段结束：写在每一程序段之后，表示程序结束。根据控制系统不同，有的用 LF，有的用 “;” 或 “\*” 表示。在 FANUC 系统中，多数用 “;” 表示结束。

### 4) 常用的准备功能 G 代码和辅助功能 M 代码

FANUC 0i-MC 系统中常用的 G 代码和 M 代码如表 3-2、表 3-3 所示。

表 3-2 FANUC 0i-MC 系统中常用的 G 代码及其功能

G 代码	组	功 能	G 代码	组	功 能
*G00	01	定位	*G40	07	刀具半径补偿取消
*G01		直线插补	G41		左侧刀具半径补偿
G02		圆弧插补/螺旋线插补 CW	G42	07	右侧刀具半径补偿
G03		圆弧插补/螺旋线插补 CCW	G43	08	正向刀具长度补偿
G04	00	停刀，准确停止	G44		负向刀具长度补偿
G09		准确停止	G45	00	刀具偏置值增加
G10		可编程数据输入	G46		刀具偏置值减小
G11		可编程数据输入方式取消	G47		2 倍刀具偏置值
*G15	17	极坐标指令取消	G48		1/2 倍刀具偏置值
G16		选择极坐标指令	*G49	08	刀具长度偏置取消
*G17	02	选择 XY 平面	*G50	11	比例缩放取消
G18		选择 ZX 平面	G51		比例缩放有效
G19		选择 YZ 平面	*G50.1	22	可编程镜像取消
G20	06	英寸输入	G51.1		可编程镜像有效
G21		毫米输入	G52	00	局部坐标系设定
G27	00	返回参考点检测	G53		选择机床坐标系
G28		返回参考点	*G54	14	选择工件坐标系 1
G29		从参考点返回	G55		选择工件坐标系 2
G30		返回第 2、3、4 参考点	G56		选择工件坐标系 3
G37	00	自动刀具长度测量	G57		选择工件坐标系 4
G39		拐角偏置圆弧插补	G58		选择工件坐标系 5





### 项目 3 平面铣削加工

续表

G 代码	组	功 能	G 代码	组	功 能
G59	14	选择工件坐标系 6	G82	09	钻孔循环或反镗循环
G60	00/01	单方向定位	G83		排屑钻孔循环
G61	15	准确停止方式	G84	09	攻丝循环
G62		自动拐角倍率	G85		镗孔循环
G63		攻丝方式	G86		镗孔循环
*G64		切削方式	G87		背镗循环
G65	00	宏程序调用	G88		镗孔循环
G66	12	宏程序模式调用	G89		镗孔循环
*G67		宏程序模式调用取消	*G90	03	绝对值编程
G73	09	排屑钻孔循环	*G91		增量值编程
G74		左旋攻丝循环	G92	00	设定工件坐标系
G76		精镗循环	*G98	10	固定循环返回到初始点
*G80		固定循环取消/外部功能取消	G99		固定循环返回到 R 点
G81		钻孔循环、镗镗循环或外部循环功能			

从表 3-2 中可以看到，G 代码被分成了不同的组，这是由于大多数的 G 代码是模式的。所谓模式 G 代码，是指这些 G 代码不只在当前的程序段中起作用，而且在以后的程序段中一直起作用，直到程序中出现另一个同组的 G 代码为止。同组的模式 G 代码控制同一个目标，起不同的作用，它们之间是不相容的。00 组的 G 代码是非模式的，这些 G 代码只在它们所在的程序段中起作用。标有\*号的 G 代码是上电时的初始状态。G01 和 G00、G90 和 G91 上电时的初始状态由参数决定。

同一程序段中可以有几个 G 代码出现，但当两个或两个以上的同组 G 代码出现时，最后出现的一个（同组的）G 代码有效。

在固定循环模式下，任何一个 01 组的 G 代码都将使固定循环模式自动取消，成为 G80 模式。

表 3-3 FANUC 0i-MC 系统中常用的 M 代码及其功能

M 代码	功 能	M 代码	功 能
M00	程序停止	M09	冷却关
M01	条件程序停止	M18	主轴定向解除
M02	程序结束	M19	主轴定向
M03	主轴正转	M29	刚性攻丝
M04	主轴反转	M30	程序结束并返回程序头
M05	主轴停止	M98	调用子程序
M06	换刀指令	M99	子程序结束返回
M08	冷却开		



#### 4. 平面铣削常用准备功能指令（G 代码）的编程要点

##### 1) 绝对坐标和相对坐标指令（G90、G91）

表示运动轴的移动方式。使用绝对坐标指令（G90），程序中的位移量用刀具的终点坐标表示。相对坐标指令（G91）又称增量坐标指令，用刀具运动的增量值来表示。如图 3-4 所示，表示刀具从起点到终点的移动，用以上两种方式的编程分别如下：

指令格式：

```
G90 X80.0 Y150.0;
G91 X-40.0 Y90.0;
```

##### 2) 坐标系设定指令（G92）

在使用绝对坐标指令编程时，预先要确定工件坐标系。通过 G92 可以确定当前工件坐标系，该坐标系在机床重新开机时消失，如图 3-5 所示。

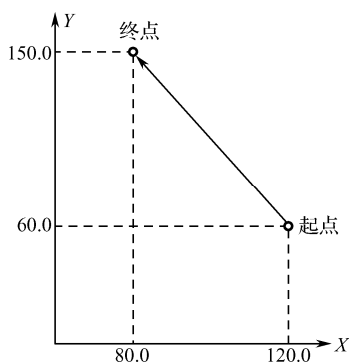


图 3-4 刀具移动轨迹

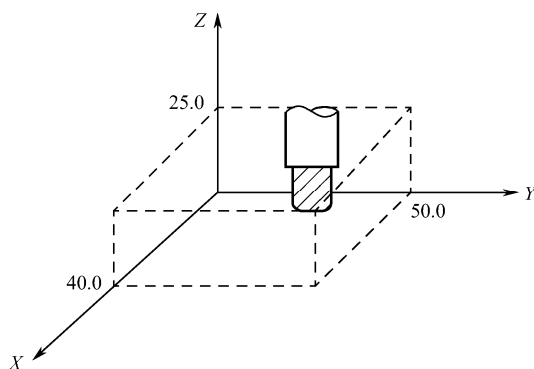


图 3-5 G92 设置坐标系

指令格式：

```
G92 X___Y___Z___;
```

##### 3) 工件坐标系的选取指令（G54～G59）

在机床中，可以预置 6 个工件坐标。通过在 CRT-MDI 面板上的操作，设置每一个工件坐标系原点相对于机床坐标系原点的偏移量，然后使用 G54～G59 指令来选用它们。G54～G59 都是模态指令，并且存储在机床存储器内，在机床重开机时仍然存在，并与刀具的当前位置无关。

一旦指定了 G54～G59 之一，则该工件坐标系原点即为当前程序点，后续程序段中的工件绝对坐标均为相对于此程序原点的值。

##### 4) 快速点定位指令（G00）

该指令命令刀具以点位控制方式从刀具所在点快速移动到目标位置，无运动轨迹要求。G00 移动速度是机床设定的空运行速度，与程序段中的进给速度无关。

指令格式：

```
G00 X___Y___Z___;
```



式中 X、Y、Z——目标点的坐标；

；——一个程序段的结束。

由于数控系统内部设置的参数不同，快速点定位指令 G00 的刀具运动轨迹可分为两种形式：

(1) 非直线插补定位

刀具分别以每轴的快速移动速度定位，刀具轨迹一般不是直线。

(2) 直线插补定位

刀具轨迹与直线插补 (G01) 相同。刀具以不超过最快速度移动，在最短的时间内定位。

例如：如图 3-6 所示从 O 点快速移动到 (42,20) 点，其程序为：

```
G90 G00 X40.0 Y20.0;
```

5) 直线插补指令 (G01)

刀具做两点间的直线运动加工时用该指令，G01 指令表示刀具从当前位置开始以给定的速度 (切削进给速度 F)，沿直线移动到规定的位置。

指令格式：

```
G01 X___Y___Z___F___;
```

如图 3-7 所示，刀具由原点直线插补至 (40,20) 点，其程序为：

```
G01 X40.0 Y20.0 F100;
```

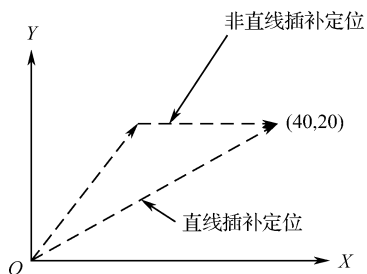


图 3-6 G00 快速定位

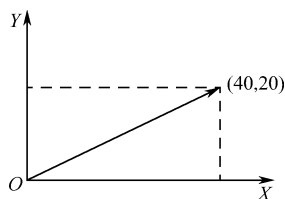


图 3-7 G01 直线插补

【例题】已知待加工轮廓如图 3-8 所示，起刀点为 O (-15,-15)，加工程序为：

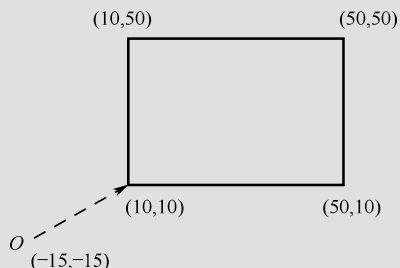


图 3-8 直线插补例题



```
G90 G01 X10.0 Y10.0 F50;
X50.0;
Y50.0;
X10.0;
Y10.0;
X-15.0 Y-15.0;
.....
```

## 5. 平面铣削常用辅助功能指令的编程要点

在机床中，M 代码分为两类：一类由 NC 直接执行，用来控制程序的执行；另一类由 PMC 来执行，控制主轴、ATC 装置、冷却系统。

### 1) 程序控制用 M 代码

用于程序控制的 M 代码有 M00、M01、M02、M30，其功能分别如下：

**M00**——程序停止。NC 执行到 M00 时，中断程序的执行，单击循环启动按钮可以继续执行程序。

**M01**——条件程序停止。NC 执行到 M01 时，如果 M01 有效开关置为上位，则 M01 与 M00 指令有相同效果；如果 M01 有效开关置为下位，则 M01 指令不起任何作用。

**M02**——程序结束。遇到 M02 指令时，NC 认为该程序已经结束，停止程序的运行并发出一个复位信号。

**M30**——程序结束，并返回程序头。在程序中，M30 除了起到与 M02 相同的作用外，还使程序返回程序头。

### 2) 其他 M 代码

**M03**——主轴正转。使用该指令使主轴以当前指定的主轴转速逆时针（CCW）旋转。

**M04**——主轴反转。使用该指令使主轴以当前指定的主轴转速顺时针（CW）旋转。

**M05**——主轴停止。

**M08**——冷却开。

**M09**——冷却关。

## 6. F、S 功能

(1) 进给功能代码 F：表示进给速度，用字母 F 及其后面的若干位数字来表示，单位为 mm/min（米制）、inch/min（英制）。例如，米制 F200 表示进给速度为 200 mm/min。

(2) 主轴功能代码 S：表示主轴转速，用字母 S 及其后面的若干位数字来表示，单位为 r/min。例如，S250 表示主轴转速为 250 r/min。

## 3.2.2 平面铣削刀具

### 1. 刀具材料

#### 1) 高速钢

高速钢是一种加入了较多钨、钼、铬、钒等合金元素的高合金工具钢。它具有较高的热稳定性、高的强度和韧性、一定的硬度和耐磨性，容易制造成型，且易磨出锋利的刀



刃, 常用来制作形状复杂的刀具。

按用途或工艺不同, 高速钢可分为以下几类。

(1) 通用型高速钢: 广泛用于制造各种复杂的刀具, 可切削硬度在 250~280 HBS 以下的大部分结构钢和铸铁材料。按钢中的含钨量不同, 可分为钨钢和钨钼钢两类。钨钢的典型牌号有 W18Cr4V, 钨钼钢的典型牌号有 W6Mo5Cr4V2、W9Mo3Cr4V。

(2) 高性能高速钢: 包括高碳高速钢、高钒高速钢、钴高速钢和超硬度高速钢等, 又称高热稳定性能高速钢, 其刀具耐用度约为通用性高速钢刀具的 1.5~3 倍, 适合于加工奥氏体不锈钢、高温合金、钛合金、超高强度钢等难加工的材料。常见牌号有 W2Mo9Cr4Co8、W6Mo5Cr4V2Al、W10Mo4Cr4V3Al 等。

(3) 粉末冶金高速钢: 是用高压氩气或纯氮气雾化熔融的高速钢钢水, 直接得到细小的高速钢粉末, 然后将这种粉末在高温高压下压制成致密的钢坯, 最后将钢坯轧成钢材或刀具形状的一种高速钢。其优点是得到细小均匀的结晶组织, 具有很好的磨削加工性。它特别适合制造难加工材料的刀具和大尺寸刀具(如滚刀、插齿刀), 也适合制造精密刀具。

## 2) 硬质合金

硬质合金是由难熔金属碳化物(TiC、WC、TaC、NbC 等)和金属黏结剂(如 Co、Ni 等)经粉末冶金方法制成的。硬质合金的硬度和耐磨性都很高, 其切削性能比高速钢高得多, 刀具耐用度可提高几倍到几十倍, 但抗弯强度和冲击韧性较差。由于其优良的切削性能, 被广泛地用作刀具材料, 绝大多数车刀、端铣刀采用硬质合金制造。

硬质合金分为以下三类:

(1) WC-Co (YG) 类硬质合金, 主要由 WC+Co 组成。常用的牌号有 YG3X、YG6X、YG6、YG8 等, 主要用于加工铸铁及有色金属。

(2) WC-TiC-Co (YG) 类硬质合金, 这类硬质合金中除含有 WC 外, 还含有 5%~30% 的 TiC。常用的牌号有 YT5、YT14、YT15 及 YT30, 主要用于加工钢料。

(3) WC-TiC-TaC (NbC) -Co (YW) 类硬质合金, 在上述硬质合金中加入一定数量 TaC (NbC) 组成。常用牌号有 YW1 和 YW2, 用于加工铸铁及有色金属、各种钢料及其合金。

## 3) 涂层刀具

涂层刀具是在韧性较好的硬质合金刀具基体上, 涂覆一薄层耐磨性高的难熔金属化合物而获得的。常用涂层材料有 TiC、TiN、TiB<sub>2</sub>、ZrO<sub>2</sub>、Ti (C、N) 及 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等, 涂层硬质合金刀片耐用度至少可提高 1~3 倍。涂层高速钢刀具主要有钻头、丝锥、滚刀、立铣刀等。

## 4) 陶瓷刀具

陶瓷刀具材料是在陶瓷基体上添加各种碳化物、氮化物、硼化物和氧、氮化物等并按一定生产工艺制成的。它具有很高的硬度、耐磨性、耐热性和化学稳定性等独特的优越性, 适合加工某些难加工的特殊材料及在高速、高温状态环境下的加工。可用于制造各种车刀、镗刀、铰刀及铣刀等。

另外, 某些超硬刀具材料, 如金刚石及立方氮化硼制作的刀具也开始用于数控机床和加工中心, 能对某些难加工材料进行高精度和高效率加工。



## 2. 平面铣削刀具

平面铣削刀具主要有面铣刀和立铣刀，如图 3-9 所示。面铣刀也称端铣刀，主要用于加工较大的平面。面铣刀的圆周表面和端面都有切削刃，圆周表面上的切削刃为主切削刃，端部切削刃为副切削刃。

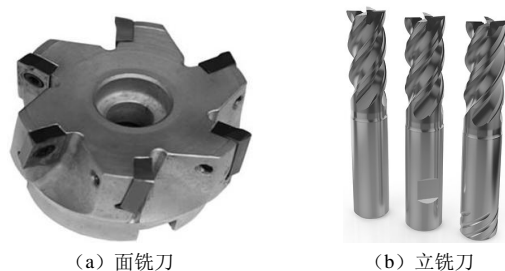


图 3-9 平面铣削刀具

面铣刀多制成成套式镶齿结构，刀齿为高速钢或硬质合金，刀体为 40Cr。与高速钢相比，硬质合金面铣刀的切削速度较高，可获得较高的加工效率和表面质量，并可加工带有硬皮和淬硬层的工件，故得到广泛应用。硬质合金面铣刀按刀片和刀齿的安装方式不同，可分为整体焊接式、机夹焊接式和可转位式三种。由于整体焊接式和机夹焊接式面铣刀难以保证焊接质量，刀具耐用度低，重磨较费时，因此，数控加工应用较多的是可转位式硬质合金面铣刀。

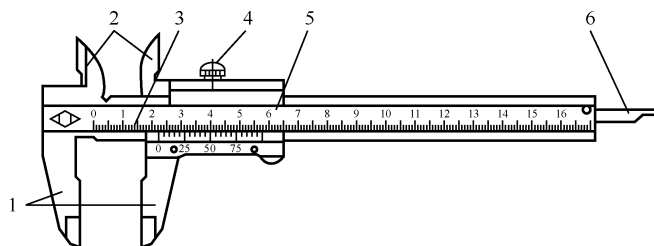
立铣刀的圆周表面和端面都有切削刃，圆周切削刃为主切削刃，主要用来铣削台阶面。

### 3.2.3 游标卡尺的使用

游标卡尺是机械加工中应用最多的通用量具，可以用来测量零件的外径、内径、长度、宽度、厚度、深度和孔距等，应用范围很广，其精度分为 0.02 mm 和 0.05 mm 两个等级。

#### 1. 游标卡尺的组成

如图 3-10 所示为游标卡尺的结构图，下量爪用来测量工件外径或长度尺寸，上量爪用来测量工件孔径或槽宽，尺身与游标用来进行数据的阅读，紧固螺钉用于将游标固定在尺身上的任何位置，深度尺用来测量工件的深度或台阶高度。



1—下量爪；2—上量爪；3—尺身；4—紧固螺钉；5—游标；6—深度尺

图 3-10 游标卡尺的结构图

#### 2. 游标卡尺读数方法

读数前应先明确所用游标卡尺的读数精度，读数时，先读出游标零线左边在尺身上的



### 项目3 平面铣削加工

整数毫米数，接着在游标上找到与尺身刻线对齐的刻度，并读出小数值，然后再将所读两数相加。如图 3-11 所示，精度为 0.02 mm 的游标卡尺，尺身上的整数值为 60 mm，游标卡尺上的小数值为 0.48 mm，此时实际测量值为： $60\text{ mm}+0.48\text{ mm}=60.48\text{ mm}$ 。

#### 3. 游标卡尺的使用

##### 1) 游标卡尺的使用方法

将量爪并拢，查看游标和主尺身的零刻度线是否对齐。如果对齐就可以进行测量，如果没有对齐则要记取零误差。游标的零刻度线在尺身零刻度线右侧的叫正零误差，在尺身零刻度线左侧的叫负零误差（这种规定方法与数轴的规定一致，原点以右为正，原点以左为负）。测量时，右手拿住尺身，大拇指移动游标，左手拿待测外径（或内径）的物体，使待测物体位于外测量爪之间，当与量爪紧紧相贴时，即可读数，如图 3-12 所示。

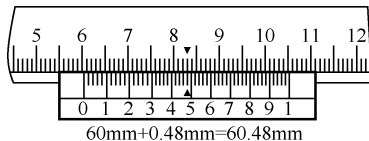


图 3-11 读数方法

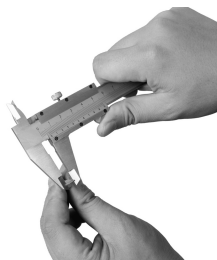


图 3-12 使用方法

##### 2) 游标卡尺的应用

游标卡尺可以用来测量工件宽度、工件外径、内径和深度等，如图 3-13 所示。

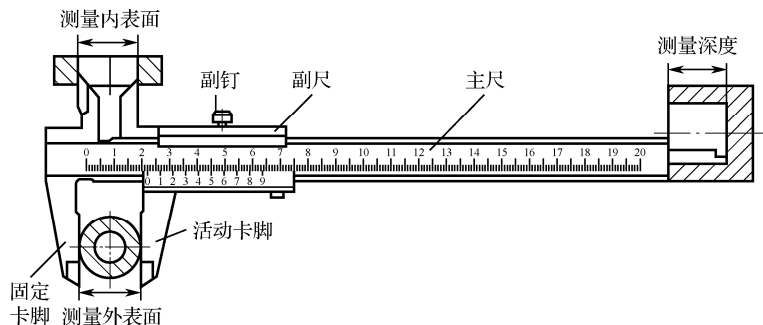


图 3-13 游标卡尺的应用

#### 3.2.4 数控铣削加工工艺

##### 1. 数控铣削加工工艺的主要内容

- (1) 分析零件图样，选择确定数控加工的内容。
- (2) 结合零件加工表面的特点和数控设备的功能，对零件进行工艺分析。
- (3) 进行数控铣削加工工艺设计，确定零件总体加工方案，包括选取零件的定位基准、装夹方案，加工路线的安排，确定工步内容、每一工步所用刀具、切削用量等。
- (4) 确定数控加工前的调整方案，如对刀方案、换刀点、刀具预调和刀具补偿方案。



## 2. 数控铣削加工工序划分

### 1) 工序划分的原则

工序划分的原则有工序集中原则和工序分散原则两种。

工序集中原则指每道工序包括尽可能多的加工内容，从而使工序的总数减少。这一原则有利于减少工序数目，缩短工艺路线，简化生产计划和生产组织工作，有利于减少机床数量、操作工人数和占地面积等；有利于减少工件装夹次数等。但专用设备和工艺装备投资大、调整维修比较麻烦，生产准备周期较长，不利于转产。

工序分散原则是指将工件的加工分散在较多的工序内进行，每道工序的加工内容很少。这一原则加工设备和工艺装备结构简单，调整和维修方便，操作简单，转产容易；有利于选择合理的切削用量，减少机动时间。但工艺路线较长，所需设备及工人人数多，占地面积大。

### 2) 工序划分的方法

在数控铣床上加工零件一般按工序集中原则划分工序，划分方法如下：

(1) 按零件装夹定位方式划分。以一次安装完成的那一部分工艺过程为一道工序。这种方法适合于加工内容较少的零件，加工完成后就能达到待检状态。

(2) 按所用刀具划分。以同一把刀具加工的那一部分工艺过程为一道工序，这样可以减少换刀时间，节省辅助时间。

(3) 按粗、精加工划分工序。对于加工后容易变形的零件，由于粗加工后可能发生较大的变形而需要校形，所以一般要进行粗加工、精加工的零件都要将工序分开。

(4) 按加工部位划分工序。对于加工内容很多的零件，可按其结构特点将加工部位分成几个部分，如内形、外形、曲面或平面等。

### 3) 加工顺序的安排

铣削加工零件划分工序后，各工序的先后顺序排定通常考虑以下原则：

(1) 基准先行原则。用作基准的表面应优先加工。

(2) 先粗后精原则。各个表面的加工顺序按照粗加工、半精加工、精加工、光整加工顺序依次进行，逐步提高表面的加工精度和表面质量。

(3) 先主后次原则。零件的主要工作表面、装配基面应先加工，从而及早发现毛坯的内在缺陷。次要表面可穿插进行，一般在主要表面半精加工之后、精加工之前进行。

(4) 先面后孔原则。对于箱体、底座、支架等零件，应先加工用作定位的平面和孔的端面，再加工孔，这样可使工件定位夹紧可靠，有利于保证孔与平面的位置精度，减小刀具的磨损，特别是钻孔，孔的轴线不易偏斜。

## 3. 数控铣削加工工艺设计

### 1) 加工方案的确定

数控铣削的零件加工面无非是一些平面、曲面、型腔和孔等，可按照反推法原则。首先按照各表面的加工精度和表面粗糙度要求确定最终的加工方法，然后确定前面一系列的粗加工方法，即获得各表面的加工方案。





## 2) 确定装夹方案

在确定零件的装夹方式时, 应力求使设计基准、工艺基准和编程计算基准统一, 同时还应力求装夹次数最少。在选择夹具时, 一般应注意以下几点:

- (1) 尽量采用通用夹具、组合夹具, 必要时才设计专用夹具。
- (2) 工件的定位基准应与设计基准保持一致, 注意防止过定位干涉现象, 且便于工件的安装, 不允许出现欠定位的现象。
- (3) 由于在数控机床上通常一次装夹完成工件的多道工序, 因此应防止工件夹紧引起的变形造成对工件加工的不良影响。
- (4) 夹具在夹紧工件时, 应使工件上的加工部位开放, 即夹具上的各部件不得妨碍走刀。
- (5) 尽量使夹具的定位、夹紧装置部位无切屑积留, 清理方便。

## 3) 确定加工工艺

确定工序的先后次序, 填写工艺卡。

## 4) 进给路线的确定

编程时确定进给路线的原则主要有以下几点:

- (1) 保证被加工工件的加工精度和表面质量。
- (2) 数值计算简单, 程序段数量少, 简化程序, 减少编程工作量。
- (3) 尽量缩短加工路线, 减少空行程时间, 提高加工效率。

## 5) 刀具的确定

选择刀具通常要考虑机床的加工能力、工序内容和工件材料等因素。数控加工不仅要求刀具的精度高、刚度好、耐用度高, 而且要求尺寸稳定、安装调整方便。

## 6) 平面铣削的切削参数

数控编程时, 编程人员必须确定每道工序的切削用量, 并以指令的形式写入程序中。如图 3-14 所示, 铣削加工的切削参数包括切削速度、进给速度、背吃刀量和侧吃刀量。切削用量的选择标准是: 在保证零件加工精度和表面粗糙度的前提下, 充分发挥刀具的切削性能, 保证合理的刀具耐用度并充分发挥机床的性能, 最大限度地提高生产率, 降低成本。

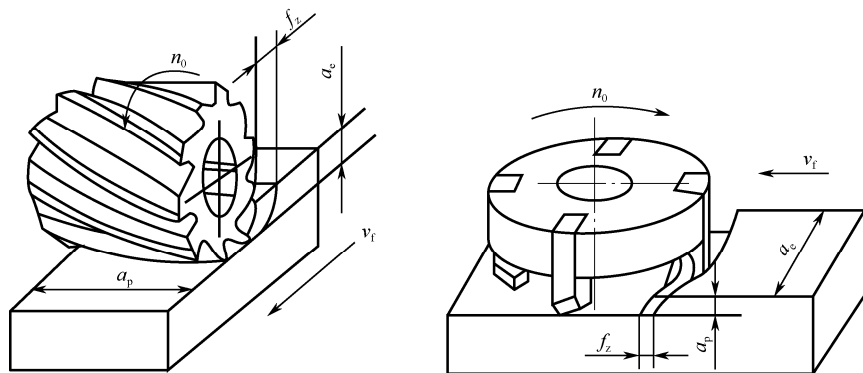


图 3-14 铣削用量

粗加工、精加工时切削用量的选择原则如下: 粗加工时, 一般以提高生产率为主, 首



先选择较大的吃刀量和进给量，然后确定适当的切削速度；半精加工和精加工时，以保证加工质量为主，采用小的吃刀量和进给量，在保证刀具磨损极限的条件下，尽可能采用大的切削速度。

(1) 背吃刀量（端铣）或侧吃刀量（圆周铣）的选择

背吃刀量  $a_p$  为平行于铣刀轴线测量的切削尺寸，单位为 mm。端铣时， $a_p$  为切削层深度，而圆周铣时， $a_p$  为被加工面的宽度。

侧吃刀量  $a_e$  为垂直于铣刀轴线测量的切削尺寸，单位为 mm。端铣时， $a_e$  为被加工表面的宽度，而圆周铣时， $a_e$  为切削层深度。

背吃刀量和侧吃刀量的选取主要由加工余量和对表面质量的要求决定：

① 在要求工件表面粗糙度值  $Ra$  为  $12.5\sim 25\ \mu\text{m}$  时，如果圆周铣削的加工余量小于 5 mm，端铣的加工余量小于 6 mm，粗铣一次就可达到要求；但余量较大、数控铣床刚性较差或功率较小时，可分两次进给完成。

② 在要求工件表面粗糙度  $Ra$  为  $3.2\sim 12.5\ \mu\text{m}$  时，可分粗铣和半精铣两步进行，粗铣的背吃刀量与侧吃刀量取相同值；粗铣后留  $0.5\sim 1\ \text{mm}$  的余量，在半精铣时完成。

③ 在要求工件表面粗糙度值  $Ra$  为  $0.8\sim 3.2\ \mu\text{m}$  时，可分为粗铣、半精铣和精铣三步进行。半精铣时背吃刀量和侧吃刀量取  $1.5\sim 2\ \text{mm}$ ，精铣时，圆周侧吃刀量可取  $0.3\sim 0.5\ \text{mm}$ ，端铣背吃刀量取  $0.5\sim 1\ \text{mm}$ 。

(2) 进给速度  $v_f$  的选择

进给速度  $v_f$  与每齿进给量  $f_z$  有关，即

$$v_f = n z f_z$$

式中  $v_f$ ——进给速度；

$n$ ——主轴转速；

$z$ ——铣刀齿数；

$f_z$ ——每齿进给量。

每齿进给量是数控铣床加工中的重要切削参数，根据零件的表面粗糙度、加工精度要求、刀具及工件材料等因素，参考切削用量手册或表 3-4 选取。

表 3-4 铣刀每齿进给量

工 件 材 料	每齿进给量 (mm)			
	粗 铣		精 铣	
	高速钢铣刀	硬质合金铣刀	高速钢铣刀	硬质合金铣刀
钢	0.10~0.15	0.10~0.25	0.02~0.05	0.10~0.15
铸铁	0.12~0.20	0.15~0.30		

(3) 切削速度  $v_c$  的选择

切削速度与刀具耐用度、每齿进给量、吃刀量及铣刀齿数  $z$  成反比，与铣刀直径成正比，还与工件材料、刀具材料和加工条件等因素有关。表 3-5 所示为切削速度  $v_c$  的推荐范围。



表 3-5 铣削时的切削速度

工 件 材 料	硬度 (HBS)	切削速度 $v_c$ (m/min)	
		高速钢铣刀	硬质合金铣刀
钢	<225	18~42	66~150
	225~325	12~36	54~120
	325~425	6~21	36~75
铸铁	<190	21~36	66~150
	190~260	9~18	45~90
	260~320	4.5~10	21~30

在实际编程中，切削速度确定后，还要计算出主轴转速，其计算公式为

$$n=1000v_c/(\pi D)$$

式中  $v_c$ ——切削线速度 (m/min);  
 $n$ ——主轴转速 (r/min);  
 $D$ ——刀具直径 (mm)。

计算主轴转速最后要参考机床说明书查看机床最高转速是否能满足需要。

4. 数控铣削加工工艺文件的编制

数控加工工艺文件既是数控加工、产品验收的依据，又是操作者遵守、执行的规程。不同的数控机床和加工要求，工艺文件的内容和格式有所不同，目前尚无统一的国家标准。

1) 数控加工工序卡

数控加工工序卡与普通机械加工工序卡有较大区别，数控加工一般采用工序集中原则，每一加工工序可划分为多个工步，工序卡不仅包含每一工步的内容，还应包含其程序号、所用刀具类型、刀具号和切削用量等内容，如表 3-6 所示。

表 3-6 数控加工工序卡

数控加工工艺卡片				产品名称	零件名称		材料		零件图号	
工序号	程序编号		夹具名称	夹具编号	使用设备		车间		工序时间	
工步号	工步内容		刀具名称	主轴转速	进给速度	背吃刀量		侧吃刀量	备注	
1										
2										
编制		审核		批准			年 月 日		共 页 第 页	



2) 数控加工刀具卡

数据加工刀具卡主要反映刀具的名称、编号、规格、长度和半径补偿值等内容，它是调刀人员准备和调整刀具、机床操作人员输入刀补参数的主要依据，如表 3-7 所示。

表 3-7 数控加工刀具卡

数控加工刀具卡片		工序号		程序编号		产品名称		零件名称		材料		零件图号	
序号	刀具号	刀具名称	刀具规格		补偿值		刀补号		备注				
			直径	长度	半径	长度	半径	长度					
编制		审核		批准		年 月 日		共 页 第 页					

3) 数控铣削程序单

由编程人员根据前面的工艺分析情况，经过数值计算，按照所用数控铣床的程序格式和指令代码，编制出加工程序，并填写加工程序单，如表 3-8 所示。

表 3-8 数控铣削程序单

数控铣削程序单				刀具号	刀具名	刀具作用
单位名称	零件名称	零件图号				
段号	程序号					
编制		审核		批准		年 月 日 共 页 第 页

3.3 任务实施

3.3.1 加工工艺设计

1. 加工图样分析

该零件包含了 6 个平面的加工，尺寸精度是未注公差，表面粗糙度为  $Ra\ 6.3\ \mu m$ ，没有



形位公差要求，加工精度要求较低。

2. 加工方案确定

根据图样加工要求，6 个表面可采用端铣刀粗铣→精铣完成。

3. 装夹方案确定

毛坯为长方体零件，可选平口虎钳装夹，工件加工表面高出钳口 10 mm 左右。

4. 确定刀具

加工该零件，可选用面铣刀铣削，加工效率高。刀具及切削参数见表 3-9。

表 3-9 面铣刀具卡

数控加工刀具卡片		工序号	程序编号	产品名称	零件名称		材料	零件图号	
		1	O0003		长方体		铸铝		
序号	刀具号	刀具名称	刀具规格		补偿值		刀补号		备注
			直径	长度	半径	长度	半径	长度	
1	T01	面铣刀	φ80	实测					硬质合金
编制		审核		批准		年 月 日	共 页	第 页	

5. 确定加工工艺

该零件精度要求低，对 6 个表面只需用面铣刀粗铣一次，然后精铣一次即可保证精度要求。加工工艺见表 3-10。

表 3-10 面铣工序卡

数控加工工艺卡片				产品名称	零件名称	材料	零件图号	
					长方体	铸铝		
工序号	程序编号	夹具名称		夹具编号	使用设备	车间	工序时间	
1	O0003	平口虎钳			XKA714B/F	实训中心		
工步号	工步内容		刀具名称	主轴转速 (r/min)	进给速度 (mm/min)	背吃刀量 (mm)	侧吃刀量 (mm)	备注
1	粗铣上表面		T01	250	150	2	60	
2	精铣上表面		T01	600	80	0.5	60	
3	粗铣下表面		T01	250	150	2	60	
4	精铣下表面		T01	600	80	0.5	60	
5	粗铣前表面		T01	250	150	2	45	
6	精铣前表面		T01	600	80	0.5	45	
7	粗铣后表面		T01	250	150	2	45	
8	精铣后表面		T01	600	80	0.5	45	
9	粗铣左表面		T01	250	150	2	45	
10	精铣左表面		T01	600	80	0.5	45	
11	粗铣右表面		T01	250	150	2	45	
12	精铣右表面		T01	600	80	0.5	45	
编制		审核		批准		年 月 日	共 页 第 页	



3.3.2 程序编制与加工

1. 建立工件坐标系

编程坐标系原点设置在加工面的左下角上表面上。以上表面为例，如图 3-15 所示。

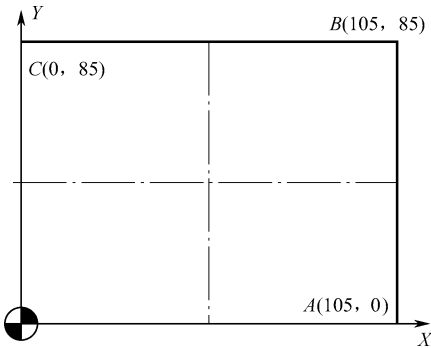


图 3-15 坐标原点及特征点坐标

2. 基点坐标计算

分别计算出 A、B、C 各点的坐标值，如图 3-15 所示。

3. 编制加工程序

根据前面的工艺分析和坐标计算，编制加工程序，并填写加工程序单（该程序单以上表面粗铣为例），如表 3-11 所示。

表 3-11 平面铣削程序单

数控铣削程序单			刀具号	刀具名	刀具作用
单位名称	零件名称	零件图号	T01	面铣刀	铣削平面
	长方体				
段号	程序号	O0003			
N5	G90 G54 G00 X-45 Y10 Z100;		建立工件坐标系，刀具快速移动到下刀位置		
N10	M03 S250;		主轴正转，转速为 250 r/min		
N15	Z10;		快速到达安全高度		
N20	G01 Z-2 F150;		以给定速度下刀至-2 mm		
N25	X120;		直线进给至 X120 mm 处		
N30	Y75;		直线进给至 Y75 mm 处		
N35	X-15;		直线进给至 X-15 处		
N40	G00 Z100;		快速抬刀至 Z100 mm 处		
N45	M05;		主轴停转		
N50	M30;		程序结束		
编制		审核	批准	年 月 日	共 页 第 页



#### 4. 程序调试与加工

- (1) 将实训学生分组，每组 6 人，每人负责一个面的加工。
- (2) 将程序输入数控系统，先进行图形模拟，然后分别进行粗、精加工，保证最后尺寸和表面粗糙度。
- (3) 加工完成，卸下工件，清理机床。

### 3.4 考核评价

#### 1. 学生自检

学生完成零件自检，填写表 3-12，并同刀具卡、工序卡和程序单一起上交。

表 3-12 项目三考核评分表

零件名称		零件图号		操作人员	完成工时			
序号	鉴定项目及标准		配分	评分标准（扣完为止）		自检	检查结果	得分
1	任务实施 (45 分)	填写刀具卡	5	刀具选用不合理扣 5 分				
2		填写加工工序卡	5	工序编排不合理每处扣 1 分，工序卡填写不正确每处扣 1 分				
3		填写加工程序单	10	程序编制不正确每处扣 1 分				
4		工件安装	3	装夹方法不正确扣 3 分				
5		刀具安装	3	刀具安装不正确扣 3 分				
6		程序录入	3	程序输入不正确每处扣 1 分				
7		对刀操作	3	对刀不正确每次扣 1 分				
8		零件加工过程	3	加工不连续，每中止一次扣 1 分				
9		完成工时	4	每超时 5 min 扣 1 分				
10		安全文明	6	撞刀、未清理机床和保养设备扣 6 分				
11	工件质量 (45 分)	长度尺寸	尺寸	10	尺寸每超 0.1 mm 扣 2 分			
12			粗糙度	5	每降一级扣 2 分			
13		宽度尺寸	尺寸	10	尺寸每超 0.1 mm 扣 2 分			
14			粗糙度	5	每降一级扣 2 分			
15		厚度尺寸	尺寸	10	尺寸每超 0.1 mm 扣 2 分			
			粗糙度	5	每降一级扣 2 分			
16	误差分析 (10 分)	零件自检		4	自检有误差每处扣 1 分，未自检扣 4 分			
17								
18		填写工件误差分析	6	误差分析不到位扣 1~4 分，未进行误差分析扣 6 分				
合计			100					
误差分析（学生填）								
考核结果（教师填）								
检验员			记分员		时间	年 月 日		



## 2. 成绩评定

教师协同组长，对零件进行检测，对刀具卡、工序卡和程序单进行批改，对学生整个任务的实施过程进行分析，并填写“考核评分表”对每个学生进行成绩评定。

## 3.5 探究与拓展

### 3.5.1 问题探究

平面铣削中影响表面粗糙度的因素很多，表 3-13 中列出了影响表面粗糙度的部分情况，在实训过程中进行分析探究，找出其影响规律，并填表。

表 3-13 影响表面粗糙度的原因分析

序 号	影 响 因 素	影 响 规 律
1	主轴转速	
2	进给速度	
3	背吃刀量	
4	顺铣、逆铣	
5	刀具磨损情况	
6	冷却润滑	
7	振动	

### 3.5.2 知识拓展——数控设备使用注意事项

数控设备使用中应注意以下问题：

#### 1. 数控设备的使用环境

为提高数控设备的使用寿命，一般要求要避免阳光的直接照射和其他热辐射，要避免太潮湿、粉尘过多或有腐蚀气体的场所。精密数控设备要远离振动大的设备，如冲床、锻压设备等。

#### 2. 良好的电源保证

为了避免电源波动幅度大（大于 $\pm 10\%$ ）和可能的瞬间干扰信号等影响，数控设备一般采用专线供电（如从低压配电室分一路单独供数控机床使用）或增设稳压装置等，都可减小供电质量的影响和电气干扰。

#### 3. 制定有效操作规程

在数控机床的使用与管理方面，应制定一系列切合实际、行之有效的操作规程。例如，润滑、保养、合理使用及规范的交接班制度等，是数控设备使用及管理的主要内容。

制定和遵守操作规程是保证数控机床安全运行的重要措施之一。实践证明，众多故障都可由遵守操作规程而减少。





#### 4. 数控设备不宜长期封存

购买数控机床以后要充分利用，尤其是投入使用的第一年，使其容易出故障的薄弱环节尽早暴露，以便在保修期内予以排除。

加工中，尽量减少数控机床主轴的启闭，以降低对离合器、齿轮等器件的磨损。

没有加工任务时，数控机床也要定期通电，最好每周通电 1~2 次，每次空运行 1 h 左右，以利用机床本身的发热量来降低机内的湿度，使电子元件不致受潮，同时也能及时发现有无电池电量不足报警，以防止系统设定参数的丢失。

### 3.5.3 拓展训练

加工如图 3-16 所示零件的上表面及台阶面（其余表面已加工），毛坯为 100 mm×80 mm×32 mm 长方体，材料为铸铝，单件生产。

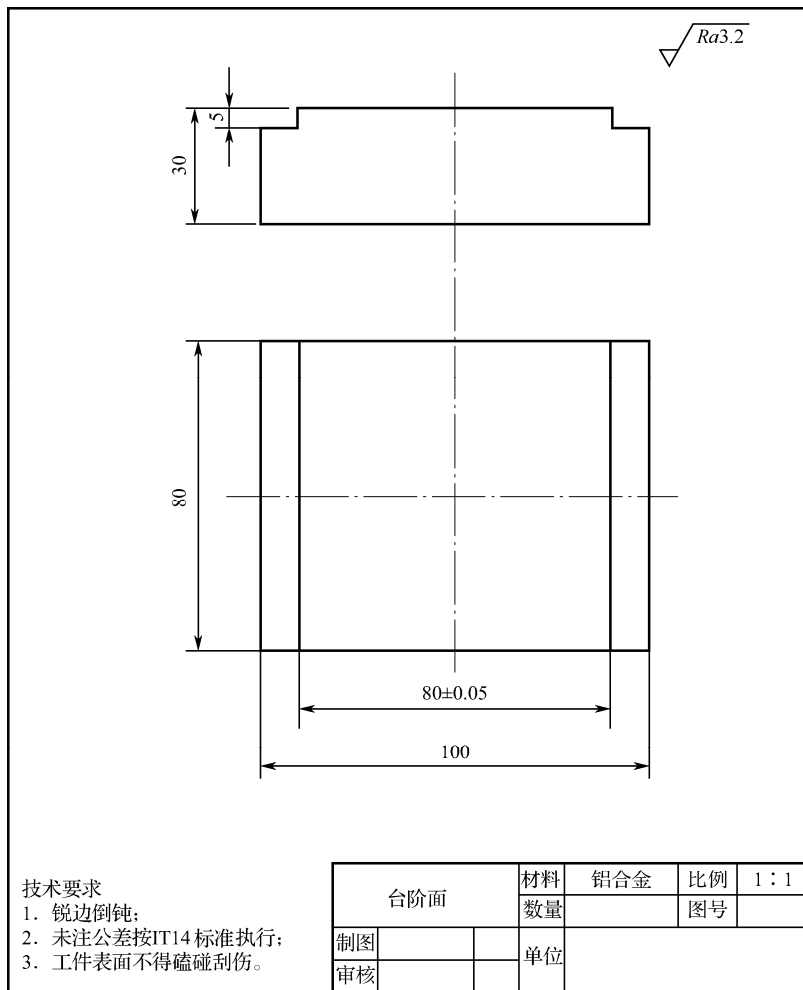


图 3-16 平面类零件拓展训练图



# 项目4

## 轮廓铣削加工

### 【项目导读】

轮廓面一般是由直线、圆弧或曲线组成的二维轮廓表面，尺寸精度较高，形状也较为复杂，是组成零件的最基本的要素。轮廓面加工主要是保证尺寸精度、位置精度和表面粗糙度。本项目以轮廓类零件铣削为例，介绍轮廓铣削的相关工艺知识、编程指令、相关量具及编程加工技巧等。

### 【知识目标】

1. 掌握 G02、G03 指令的含义及编程格式。
2. 掌握刀具半径补偿的含义及应用。
3. 了解立铣刀的特点及选用。
4. 掌握千分尺的读数方法。
5. 掌握轮廓铣削的工艺知识。

### 【能力目标】

1. 能够利用所学代码编制出轮廓类零件的加工程序。
2. 能够制定轮廓类零件的加工工艺。
3. 能够运用自动加工功能独立完成轮廓类零件的加工。
4. 能够对加工零件进行准确测量。

### 【素质目标】

1. 通过开展小组之间的竞赛，培养同学们的团队意识。
2. 通过组员之间的交流探讨，培养同学们的交流表达能力。



## 4.1 工作任务

零件如图 4-1 所示。毛坯是 6 个表面已加工尺寸为  $100\text{ mm}\times 70\text{ mm}\times 30\text{ mm}$  的铝合金件，本任务要求加工如图 4-1 所示的外轮廓表面，保证最后尺寸精度和表面粗糙度值。

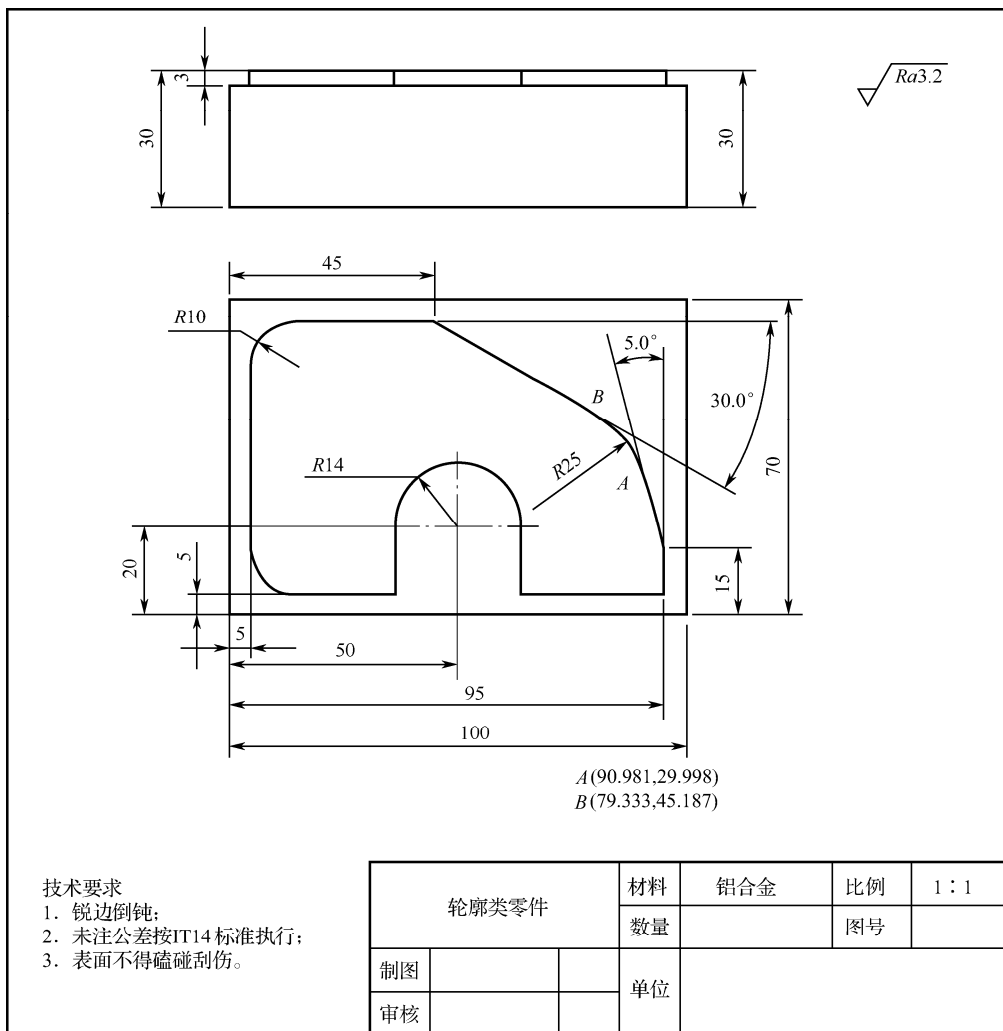


图 4-1 轮廓类零件

## 4.2 相关知识

### 4.2.1 轮廓铣削相关编程指令

#### 1) 平面选取指令 (G17、G18、G19)

在三坐标机床上加工时，如进行圆弧插补，要规定加工所在的平面，用 G 代码可以进



行平面选择，如图 4-2 所示。

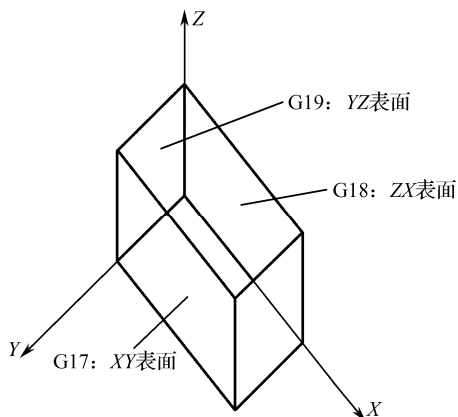


图 4-2 平面选择

## 2) 圆弧插补指令 (G02、G03)

G02 为顺时针圆弧插补，G03 为逆时针圆弧插补，刀具进行圆弧插补时必须规定所在平面，然后再确定回转方向，如图 4-3 所示。

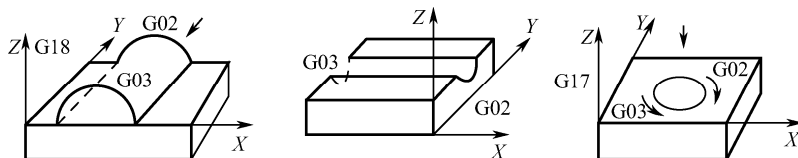


图 4-3 G02 和 G03 的判别

G02 与 G03 的确定：沿圆弧所在平面（如 XY 平面）另一坐标轴的负方向（-Z）看去，顺时针方向为 G02，逆时针方向为 G03，如图 4-3 所示。

指令格式：

```
G17 { G02 / G03 } X__ Y__ { (I__ J__) / R__ } F__;  
G18 { G02 / G03 } X__ Z__ { (I__ K__) / R__ } F__;  
G19 { G02 / G03 } Y__ Z__ { (J__ K__) / R__ } F__;
```

式中，X、Y、Z 后的数值表示圆弧终点坐标，可以用绝对值，也可以用增量值，由 G90 或 G91 指定；I、J、K 后的数值分别为圆弧的起点到圆心的在 X、Y、Z 轴方向的增量值，或者说圆心相对于圆弧起点在 X、Y、Z 方向的增量值，带有正负号；R 后的数值表示圆弧半径；F 后的数值表示沿圆弧运动的速度。

在具体圆弧编程时，可以用 I、J、K 方式编程，也可用 R 方式编程。当用 R 方式指定圆心位置时，由于在同一半径 R 的情况下，从圆弧的起点到终点有两个圆弧的可能性，如图 4-4 所示。为区别二者，规定圆心角  $\alpha < 180^\circ$  时，用 +R 表示，图 4-4 中圆心角是  $90^\circ$ ，用 +R 表示； $\alpha > 180^\circ$  时，用 -R 表示，图 4-4 中加工圆心角为  $270^\circ$  时，用 -R 表示。编一个整圆弧时，只能用 I、J、K 方式确定圆心，不能用 R 方式。

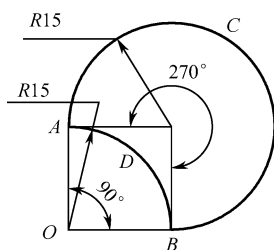


图 4-4 R 的正值

### 3) 自动返回参考点指令 (G28)

该指令使指令轴以快速定位进给速度经由  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  指定的中间点返回机床参考点，中间点的指定既可以是绝对值方式也可以是增量值方式，这取决于当前的模态。一般来说，该指令用于整个加工程序结束后使工件移出加工区，以便卸下加工完毕的零件和装夹待加工的零件。

指令格式：

G28 X\_\_\_Y\_\_\_Z\_\_\_;

执行手动返回参考点以前执行 G28 指令时，各轴从中间点开始的运动与手动返回参考点的运动一样，从中间点开始的运动方向为正向。

G28 指令中的坐标值将被 CNC 作为中间点存储，另一方面，如果一个轴没有被包含在 G28 指令中，CNC 存储的该轴的中间点坐标值将使用以前的 G28 指令中所给定的值。例如：

```
N1 X20.0 Y54.0;
N2 G28 X-40.0 Y-25.0; 中间点坐标值 (-40.0, -25.0)
N3 G28 Z31.0; 中间点坐标值 (-40.0, -25.0, 31.0)
```

该中间点的坐标值主要由 G29 指令使用。

为了安全起见，在执行该命令以前应该取消刀具半径补偿和长度补偿。

### 4) 刀具半径补偿指令 (G40、G41、G42)

#### (1) 刀具半径补偿的含义

在编制轮廓切削加工场合，一般以工件的轮廓尺寸为刀具编程轨迹，这样编制加工程序简单，即假设刀具中心运动轨迹是沿工件轮廓运动的，而实际的刀具运动轨迹要与工件轮廓有一个偏移量（即刀具半径），如图 4-5 所示。利用刀具半径补偿功能可以方便地实现这一转变，简化程序编制，机床可以自动判断补偿的方向和补偿值的大小，自动计算出实际刀具中心轨迹，并按刀具中心轨迹运动。

G40: 刀具补偿取消

G41: 刀具左补偿

G42: 刀具右补偿

#### (2) 左、右补偿的判断

沿着刀具前进的方向观察，刀具偏在工件轮廓的左边，称为左补偿，用 G41 指令；刀具偏在工件轮廓的右边，称为右补偿，用 G42 指令，如图 4-6 所示。

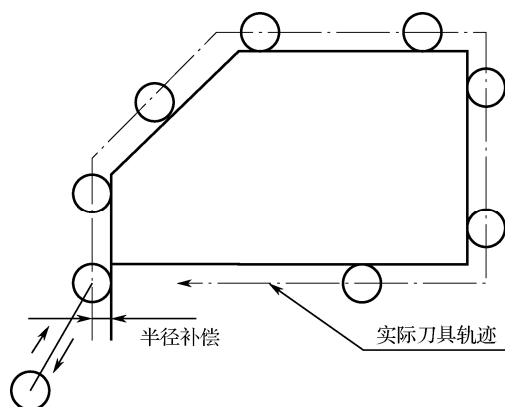


图 4-5 刀具半径补偿含义

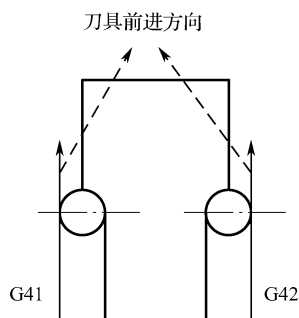


图 4-6 左、右补偿的判断

### (3) 指令格式

G41 (G42) X\_\_ Y\_\_ D\_\_;

式中, D 后的数值为刀具偏置寄存器编号。

数控系统的刀具半径补偿就是将计算刀具中心轨迹的过程交由 CNC 系统执行, 编程员假设刀具的半径为零, 直接根据零件的轮廓形状进行编程, 而实际的刀具半径则存放在刀具半径偏置寄存器内。在加工过程中, CNC 系统调用所需刀具半径补偿参数所对应的寄存器编号, 根据零件程序自动计算刀具中心轨迹, 完成对零件的加工。当刀具半径发生变化时, 不需修改零件程序, 只需修改存放在刀具半径偏置寄存器中的刀具半径值或选用存放在另一个刀具偏置寄存器中的刀具半径值即可。同时, 在同一程序中, 对同一尺寸的刀具, 利用刀具半径补偿, 可以进行粗、精加工。

### (4) 使用刀具半径补偿功能的注意事项

- ① G40、G41、G42 一般不能和 G02、G03 在一个程序段中, 只能和 G00、G01 一起使用, 否则, CNC 系统会出现报警。
- ② 一般情况下, 输入刀具半径偏置寄存器中的刀具半径值为正值, 如果为负值, 则 G41 与 G42 相互替换。
- ③ 半径补偿功能为续效代码, 因此, 若程序中建立了半径补偿, 在加工完成后必须用 G40 指令将补偿状态取消。
- ④ 一般的数控加工系统在加工过程中, 只能预读其后的两句程序段, 因此, 如果在偏置方式中, 处理两个或更多刀具不移动的程序段 (辅助功能、暂停等) 或非指定平面轴的移动指令, 则有可能产生过切现象。

**【例题】** 如图 4-7 所示, 起始点在 (X0, Y0), 高度在 50 mm 处, 使用刀具半径补偿时, 由于接近工件及切削工件要有 Z 轴的移动, 如果 N40、N50 句连续有 Z 轴移动, 这时容易出现过切现象。

```
O0001;
N10 G90 G54 G00 X0 Y0 M03 S500;
N20 Z50;
```



```

N30 G41 X20 Y10 D01;
N40 Z10;
N50 G01 Z-10 F100;
N60 Y50;
N70 X50;
N80 Y20;
N90 X10;
N100 G00 Z50;
N110 G40 X0 Y0 M05;
N120 M30;

```

以上程序在运行 N60 时，产生过切现象，如图 4-7 所示。

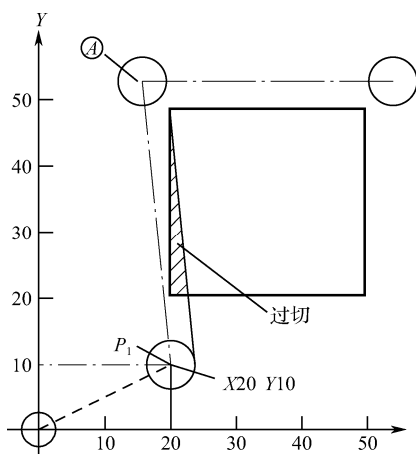


图 4-7 刀具半径补偿的过切

其原因是从 N30 刀具补偿建立，进入刀具补偿状态后，系统只能读 N40、N50 两段，但由于 Z 轴是非刀具补偿平面的轴，而且又读不到 N60 以后的程序段，也就做不出偏移矢量，刀具确定不了前进的方向，此时刀具中心未加上刀具补偿而直接移到了无补偿的  $P_1$  点。当执行完 N40、N50 后，再执行 N60 段时，刀具中心从  $P_1$  点移至交点 A，于是发生过切。

为避免过切，可将上面的程序改成下述形式来解决。

```

O0001;
N10 G90 G54 G00 X0 Y0 M03 S500;
N20 G00 Z50;
N30 Z10;
N40 G41 X20 Y10 D01;
N50 G01 Z-10 F50;
N60 Y50;
.....

```

#### (5) 刀具半径补偿的应用

刀具半径补偿除方便编程外，还可以利用改变刀具半径补偿值大小的方法，实现利用

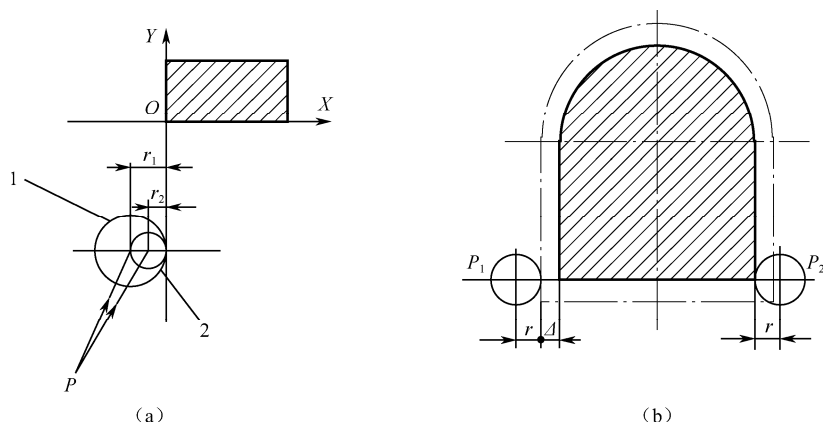


同一程序进行粗、精加工，即

粗加工刀具半径补偿=刀具半径+精加工余量

精加工刀具半径补偿=刀具半径+修正量

① 因磨损、重磨或换新刀而引起刀具半径改变后，不必修改程序，只需在刀具参数设置中输入变化后的刀具半径。如图 4-8 (a) 所示，1 为未磨损刀具，2 为磨损刀具，只需将刀具参数表中的刀具半径  $r_1$  改为  $r_2$ ，即可适用同一程序。



1—未磨损刀具；2—磨损刀具

图 4-8 刀具半径补偿的应用

② 同一程序中，同一尺寸的刀具，利用半径补偿，可进行粗、精加工。如图 4-8 (b) 所示，刀具半径为  $r$ ，精加工余量为  $\Delta$ ，粗加工时，输入刀具半径  $D=r+\Delta$ ，则加工出点画线轮廓；精加工时，用同一程序同一刀具，但输入刀具半径  $D=r$ ，加工出实线轮廓。

## 4.2.2 轮廓铣削常用刀具

立铣刀是数控加工中应用最多的一种铣刀，主要用于加工沟槽、台阶面及平面轮廓。如图 4-9 所示，立铣刀的圆柱表面和端面上都有切削刃，它们可同时进行切削，也可单独进行切削。立铣刀的圆柱表面切削刃为主切削刃，端面上的切削刃为副切削刃，副切削刃主要用于加工与侧面垂直的底平面。普通立铣刀的端面中间有凹槽无切削刃，工作时不能沿轴向进给。

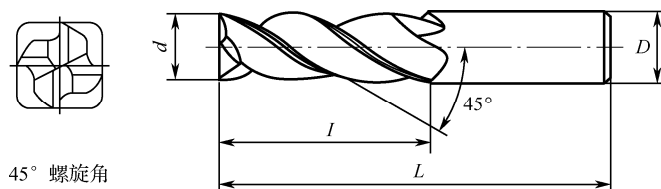


图 4-9 立铣刀

立铣刀根据端部切削刃的不同，可分为过中心刃和不过中心刃两种；按螺旋角大小不同，可分为  $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$  等几种；按齿数不同，可分为粗齿、中齿、细齿三种；按结构不同，可分为整体式立铣刀、可转位立铣刀等。





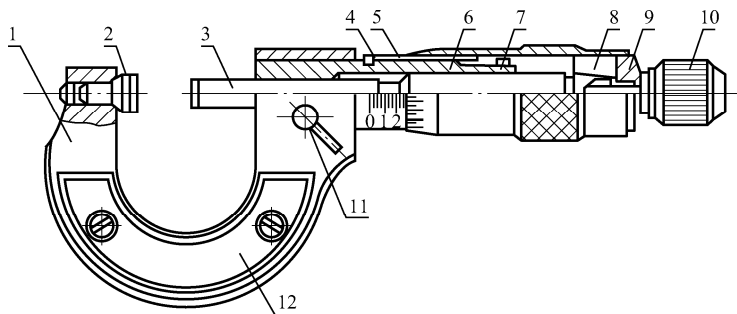
### 4.2.3 轮廓测量常用量具

#### 1. 千分尺

千分尺是应用螺旋测微原理制成的量具，它们的测量精度比游标卡尺高，并且测量比较灵活，当加工精度要求较高时经常采用。常用的螺旋读数量具有内径千分尺和外径千分尺。千分尺的分度值为 0.01 mm。

##### 1) 千分尺的组成

如图 4-10 所示，带有刻度的固定刻度套筒 5 用螺钉固定在螺纹轴套 4 上，而螺纹轴套又与尺架 1 紧密结合成一体。在固定刻度套筒 5 的外面有一带刻度的活动微分筒 6，它用锥孔通过接头 8 的外圆锥面再与测微螺杆 3 相连。



1—尺架；2—固定测砧；3—测微螺杆；4—螺纹轴套；5—固定刻度套筒；6—微分筒；7—调节螺母；

8—接头；9—垫片；10—测力装置；11—锁紧螺钉；12—绝热板

图 4-10 千分尺结构图

测微螺杆 3 的一端是测量杆，并与螺纹轴套 4 上的内孔定心间隙配合；中间是精度很高的外螺纹，与螺纹轴套 4 上的内螺纹精密配合，可使测微螺杆自如旋转而其间隙极小；测微螺杆另一端的外圆锥与内圆锥接头 8 的内圆锥相配，并通过顶端的内螺纹与测力装置 10 连接。当测力装置的外螺纹旋紧在测微螺杆的内螺纹上时，测力装置就通过垫片 9 紧压接头 8，而接头 8 上开有轴向槽，有一定的胀缩弹性，能沿着测微螺杆 3 上的外圆锥胀大，从而使微分筒 6 与测微螺杆和测力装置结合成一体。当用手旋转测力装置 10 时，就带动测微螺杆 3 和微分筒 6 一起旋转，并沿着精密螺纹的螺旋线方向运动，使千分尺两个测量面之间的距离发生变化。

##### 2) 千分尺读数

外径千分尺的读数分三步：先读出微分筒左边固定套筒中露出刻线整数与半毫米数值，接着读出微分筒上与固定套管上基线对齐刻线的小数值，然后将所读整数和小数相加，即为被测零件的尺寸。如图 4-11 所示，使用 25~50 mm 的外径千分尺固定套筒上的刻线读数值为 32.5 mm，微分筒上的刻线读数值为 0.35 mm，此时实际测量值为： $32.5 \text{ mm} + 0.35 \text{ mm} = 32.85 \text{ mm}$ 。

##### 3) 千分尺的使用

用千分尺测量零件时，应当手握测力装置的转帽来转动测微螺杆，使测砧表面保持标



准的测量压力，即听到“嘎嘎”的声音，表示压力合适，并可开始读数。要避免因测量压力不等而产生测量误差。绝对不允许用力旋转微分筒来增加测量压力，使测微螺杆过分压紧零件表面，致使精密螺纹因受力过大而产生变形，损坏千分尺的精度。有时用力旋转微分筒后，虽因微分筒与测微螺杆间的连接不牢固，对精密螺纹的损坏不严重，但是微分筒打滑后，千分尺的零位走动了，就会造成质量事故。

用单手使用外径千分尺时，如图 4-12（a）所示，可用大拇指和食指或中指捏住活动套筒，小指钩住尺架并压向手掌上，大拇指和食指转动测力装置就可测量。用双手测量时，可按图 4-12（b）所示的方法进行。

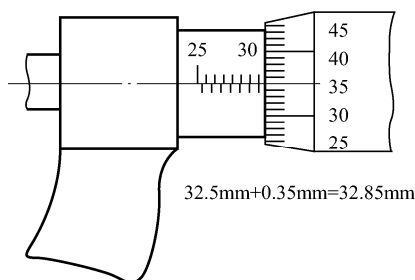


图 4-11 千分尺读数

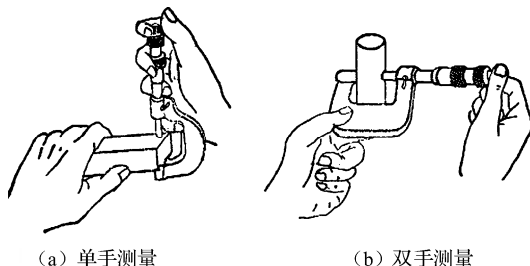


图 4-12 千分尺的使用

值得提出的是几种使用千分尺的错误方法，如图 4-13 所示，用千分尺测量旋转运动中的工件，很容易使千分尺磨损，而且测量也不准确；又如贪图快一点得出读数，握着微分筒来挥转等，这同碰撞一样，也会破坏千分尺的内部结构。

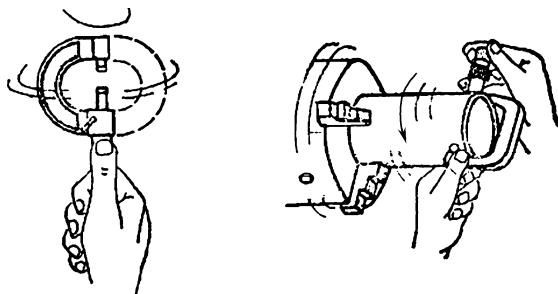


图 4-13 错误使用方法

## 2. 万能角度尺

万能角度尺是用来测量精密零件内、外角度或进行角度画线的角度量具，有游标量角器、万能角度尺等。万能角度尺的组成如图 4-14 所示。

万能角度尺的读数机构由刻有基本角度刻线的主尺和固定在扇形板上的游标组成。扇形板可在主尺座回转移动（有制动头），形成了和游标卡尺相似的游标读数机构。

万能角度尺主尺上的刻度线每格  $1^\circ$ 。由于游标上刻有 30 格，所占的总角度为  $29^\circ$ ，因此，两者每格刻线的度数差是

$$1^\circ - \frac{29^\circ}{30} = \frac{1^\circ}{30} = 2'$$

即万能角度尺的精度为  $2'$ 。

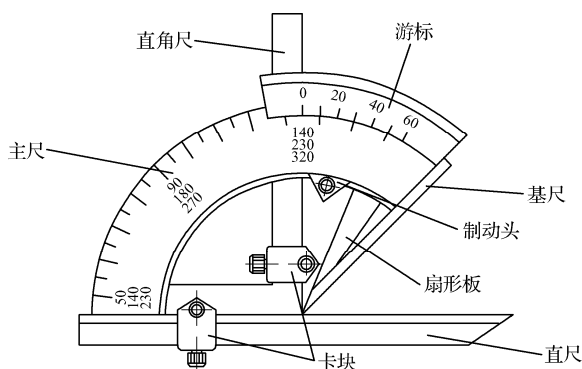


图 4-14 万能角度尺的组成

万能角度尺的读数方法和游标卡尺相同，先读出游标零线前的角度是几度，再从游标上读出角度“分”的数值，两者相加就是被测零件的角度数值。

在万能角度尺上，基尺是固定在主尺上的，直角尺用卡块固定在扇形板上，直尺用卡块固定在直角尺上。若把直角尺拆下，也可把直尺固定在扇形板上。由于直角尺和直尺可以移动和拆换，使万能角度尺可以测量  $0^\circ \sim 320^\circ$  的任何角度。

由图 4-15 可见，直角尺和直尺全装上时，可测量  $0^\circ \sim 50^\circ$  的外角度；仅装上直尺时，可测量  $50^\circ \sim 140^\circ$  的角度；仅装上直角尺时，可测量  $140^\circ \sim 230^\circ$  的角度；把直角尺和直尺全拆下时，可测量  $230^\circ \sim 320^\circ$  的角度（即可测量  $40^\circ \sim 130^\circ$  的内角度）。

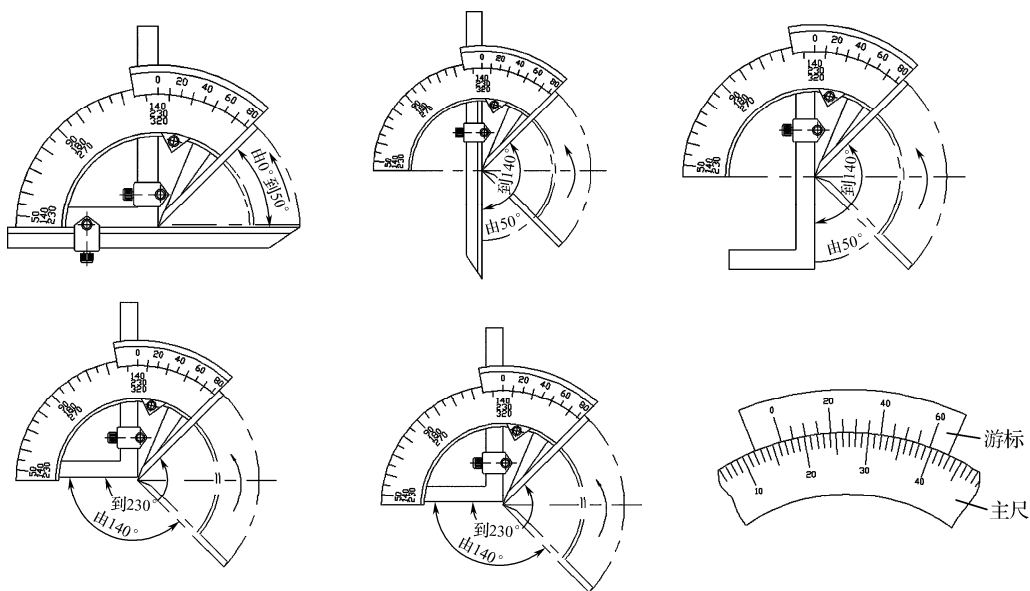


图 4-15 万能量角尺的应用

万能量角尺的尺座上，基本角度的刻线只有  $0^\circ \sim 90^\circ$ ，如果测量的零件角度大于  $90^\circ$ ，则在读数时，应加上一个基数（ $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$ ）。当零件角度  $>90^\circ \sim 180^\circ$  时，被测角度 =  $90^\circ$  + 量角尺读数；当零件角度  $>180^\circ \sim 270^\circ$  时，被测角度 =  $180^\circ$  + 量角尺读数；当零件角度  $>270^\circ \sim 320^\circ$  时，被测角度 =  $270^\circ$  + 量角尺读数。



用万能角度尺测量零件角度时，应使基尺与零件角度的母线方向一致，且零件应与量角尺的两个测量面在全长上接触良好，以免产生测量误差。

## 4.2.4 轮廓铣削的工艺知识

### 1. 外轮廓铣削的进、退刀方式

#### 1) 垂直方向进、退刀

如图 4-16 所示，刀具沿 Z 轴下刀后，垂直接近工件表面，这种方法进给路线短，但工件表面有接刀痕。

#### 2) 直线切向进、退刀

如图 4-17 所示，刀具沿 Z 轴下刀后，从工件外直线切向进刀，退刀时沿切向退出，这样切削工件时不会产生接刀痕。

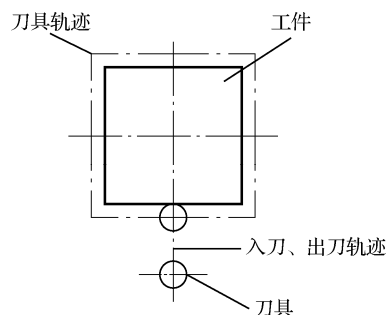


图 4-16 垂直方向进、退刀

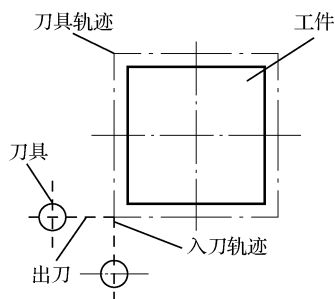


图 4-17 直线切向进、退刀

#### 3) 圆弧切向进、退刀

如图 4-18 所示，刀具沿圆弧切向切入、切出工件，工件表面没有接刀痕。

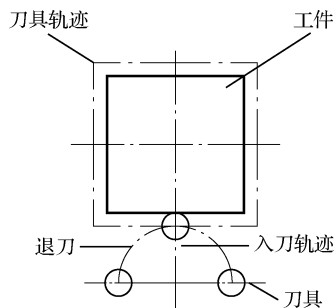


图 4-18 圆弧切向进、退刀

当零件的外轮廓由圆弧组成时，要注意安排好刀具的切入、切出，要尽量避免交界处重复加工，否则会出现明显的界限痕迹。为了保证零件的表面质量，减少接刀痕迹，对刀具的切入、切出程序要精心设计。如图 4-19 所示，铣刀应沿零件轮廓曲线的延长线切入和切出零件表面，而不应沿法向直线切入零件，以避免加工表面产生划痕，保证零件轮廓光滑。

如在加工整圆时，要安排刀具从切向进入圆周铣削加工，当整圆加工完毕后，不要在切点处直接退刀，而让刀具多运动一段距离，最好沿切线方向退出，以免取消刀具补偿



时, 刀具与工件表面相碰, 造成工件报废, 如图 4-20 所示。

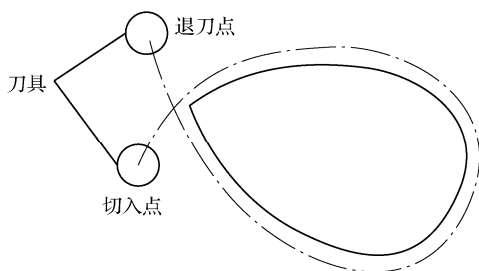


图 4-19 刀具切入、切出时的外延

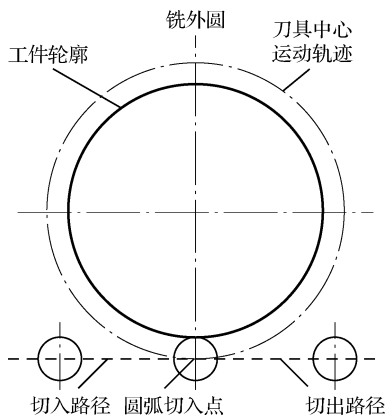


图 4-20 整圆加工切入、切出路径

## 2. 顺铣与逆铣

在加工中, 铣削分为逆铣和顺铣, 当铣刀的旋转方向和工件的进给方向相同时称为顺铣, 相反时则称为逆铣, 如图 4-21 所示。

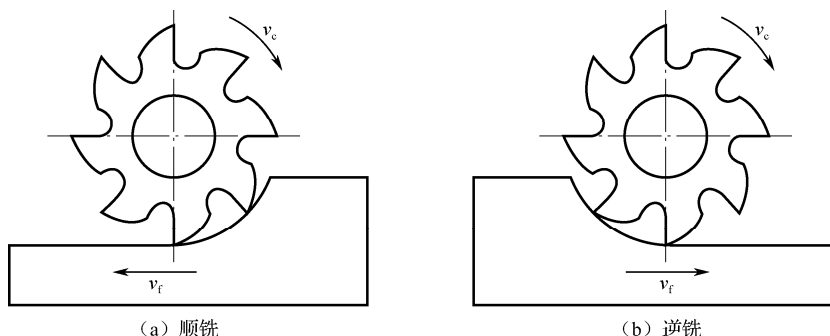


图 4-21 顺铣与逆铣

逆铣时刀齿开始切削工件时的切削厚度比较小, 导致刀具易磨损, 并影响已加工表面; 顺铣时刀具的耐用度比逆铣时提高 2~3 倍, 刀齿的切削路径比较短, 比逆铣时的平均切削厚度大, 而且切削变形较小, 但顺铣不宜加工带硬皮的工件。由于工件所受的切削力方向不同, 粗加工时逆铣比顺铣要平稳。因此, 为了降低表面粗糙度值, 提高刀具耐用度, 对于铝镁合金、钛合金和耐热合金等材料, 尽量采用顺铣加工。但如果零件毛坯为黑色金属锻件或铸件, 表皮硬而且余量比较大, 则这时采用逆铣较为合理。

对于立式数控铣床所采用的立铣刀, 装在主轴上相当于悬臂梁结构, 在切削加工时刀具会产生弹性弯曲变形, 如图 4-22 所示。

当用铣刀顺铣时, 刀具在切削时会产生让刀现象, 即切削时出现“欠切”, 如图 4-22 (a) 所示; 而用铣刀逆铣时, 刀具在切削时会产生啃刀现象, 即切削时出现“过切”现象, 如图 4-22 (b) 所示。

刀具直径越小、刀杆伸出越长, 这种现象越明显。所以在选择刀具时, 从提高生产率、减小刀具弹性弯曲变形的影响这些方面考虑, 应选大的直径, 但不能大于零件凹圆弧



的半径；在装刀时尽量伸出短些。

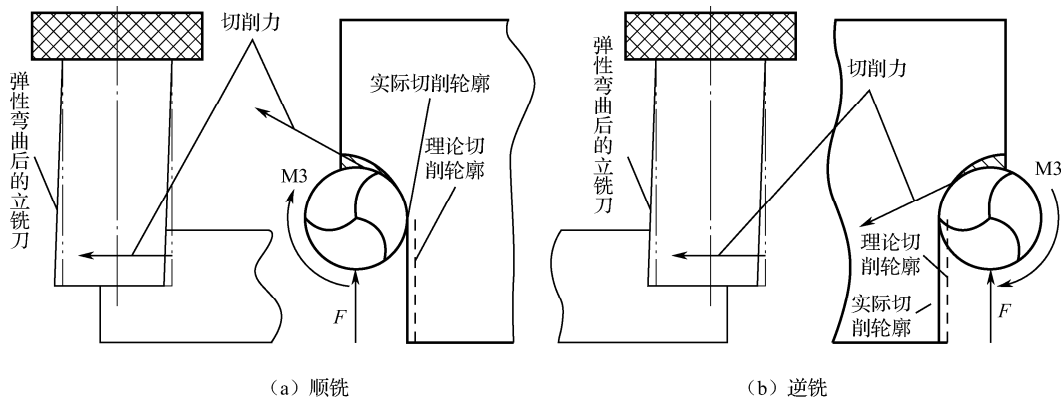


图 4-22 顺铣与逆铣

4.3 任务实施

4.3.1 加工工艺设计

1. 加工图样分析

该零件外轮廓由直线和圆弧面组成，内轮廓为圆弧面型腔。尺寸精度外轮廓约为 IT9 级精度，内轮廓为 IT7 级精度，表面粗糙度为  $Ra\ 3.2\ \mu\text{m}$ ，没有形位公差要求，加工精度要求中等。

2. 加工方案确定

根据图样加工要求，外轮廓面可采用立铣刀粗铣→精铣完成。内轮廓采用键槽铣刀粗铣→精铣完成。

3. 装夹方案确定

毛坯为长方体零件，可选平口虎钳装夹，工件上表面高出钳口 15 mm 左右。

4. 确定刀具

加工该零件，可选用立铣刀和键槽铣刀铣削。刀具及参数见表 4-1。

表 4-1 轮廓铣削刀具卡

数控加工刀具卡片		工序号		程序编号		产品名称		零件名称		材料		零件图号	
		1		O0003				轮廓零件		铸铝			
序号	刀具号	刀具名称	刀具规格		补偿值		刀补号		备注				
			直径	长度	半径	长度	半径	长度					
1	T01	立铣刀（3 齿）	φ16		8.3			D01		高速钢			
编制		审核			批准		年 月 日		共 页	第 页			



### 5. 确定加工工艺

该零件精度要求中等，对内、外轮廓面的铣削可作为一道工序。只需对其粗铣一次，然后精铣一次，即可保证精度。加工工艺见表 4-2。

表 4-2 轮廓铣削工序卡

数控加工工艺卡片				产品名称		零件名称		材料		零件图号						
						轮廓零件		铝合金								
工序号		程序编号		夹具名称		夹具编号		使用设备		车间		工序时间				
1		O0004		平口虎钳				XKA714B/F		实训中心						
工步号		工步内容			刀具名称		主轴转速 (r/min)		进给速度 (mm/min)		背吃刀量 (mm)		侧吃刀量 (mm)		备注	
1		粗铣外轮廓			T01		500		120		4.8					
2		精铣外轮廓			T01		600		80		5		0.3			
编制				审核				批准				年 月 日		共 页 第 页		

### 4.3.2 程序编制与加工

#### 1. 建立工件坐标系

根据工件尺寸标注特点，编程坐标系原点设置在左下角上表面上，如图 4-23 所示。

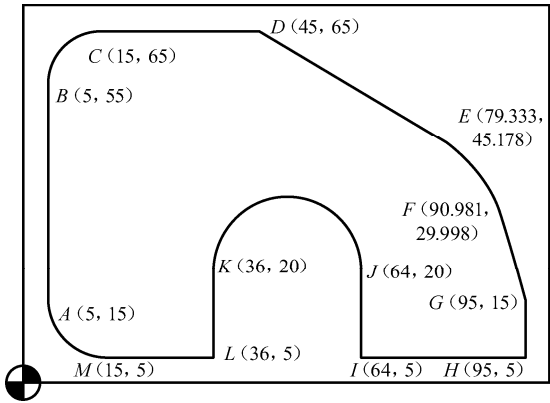


图 4-23 工件坐标原点及特征点坐标值

#### 2. 计算基点坐标

分别计算出各特征点的坐标值，如图 4-23 所示。

#### 3. 编制加工程序

根据前面的工艺分析和坐标计算，编制轮廓粗加工程序，如表 4-3 所示。精加工时，只需修改粗加工程序的转速、进给速度、背吃刀量和刀补值即可。并填写加工程序单。



表 4-3 外轮廓粗加工铣削程序单

数控铣削程序单					刀具号		刀具名		刀具作用						
单位名称		零件名称			零件图号		T01		立铣刀		铣削外轮廓				
		轮廓类零件													
段号		程序号		O0004											
O0004;					主程序号										
N5		G90 G54 G00 X0 Y0 Z100;				建立工件坐标系，刀具移动到原点上 100 mm 处									
N10		M03 S500;				主轴正转，转速为 500 r/min									
N15		Z10;				快速到达安全高度									
N20		G41 X0 Y5 D01;				快速移动到起刀点，并建立刀具半径补偿									
N25		G01 Z-2.8 F120;				以给定速度下刀至-2.8 mm									
N30		Y55;				直线插补到 <i>B</i> 点									
N35		G02 X15 Y65 R10;				圆弧插补到 <i>C</i> 点									
N40		G01 X45;				直线插补到 <i>D</i> 点									
N45		X79.333 Y45.178;				圆弧插补到 <i>E</i> 点									
N50		G02 X90.981 Y29.998 R25;				直线插补到 <i>F</i> 点									
N55		G01 X95 Y15;				圆弧插补到 <i>G</i> 点									
N60		Y5;				直线插补到 <i>H</i> 点									
N65		X64;				圆弧插补到 <i>I</i> 点									
N70		Y20;				直线插补到 <i>J</i> 点									
N75		G03 X36 R14;				圆弧插补到 <i>K</i> 点									
N80		G01 Y5;				直线插补到 <i>L</i> 点									
N85		X15;				直线插补到 <i>M</i> 点									
N90		G02 X5 Y15 R10;				圆弧插补到 <i>A</i> 点									
N95		G00 Z100;				抬刀至 100 mm 处									
N100		G40 X0 Y0;				取消刀具半径补偿									
N105		M05;				刀具停转									
N110		M30;				程序结束返回程序头									
编制				审核				批准				年 月 日		共 页 第 页	

#### 4. 程序调试与加工

- (1) 将实训学生分组, 每组 6 人, 小组成员间分工协作完成零件加工。
- (2) 将程序输入数控系统, 先进行图形模拟, 然后分别进行粗、精加工, 保证最后尺寸。
- (3) 加工完成, 卸下工件, 清理机床。





## 4.4 考核评价

### 1. 学生自检

学生完成零件自检，填写“考核评分表”，见表 4-4，并同刀具卡、工序卡和程序单一起上交。

表 4-4 项目四考核评分表

零件名称		轮廓零件		零件图号		操作人员		完成工时	
序号	鉴定项目及标准			配分	评分标准（扣完为止）		自检	检查结果	得分
1	任务实施 (45 分)	填写刀具卡		5	刀具选用不合理扣 5 分				
2		填写加工工序卡		5	工序编排不合理每处扣 1 分，工序卡填写不正确每处扣 1 分				
3		填写加工程序单		10	程序编制不正确每处扣 1 分				
4		工件安装		3	装夹方法不正确扣 3 分				
5		刀具安装		3	刀具安装不正确扣 3 分				
6		程序录入		3	程序输入不正确每处扣 1 分				
7	任务实施 (45 分)	对刀操作		3	对刀不正确每次扣 1 分				
8		零件加工过程		3	加工不连续，每中止一次扣 1 分				
9		完成工时		4	每超时 5 min 扣 1 分				
10		安全文明		6	撞刀、未清理机床和保养设备扣 6 分				
11	工件质量 (45 分)	长度尺寸	尺寸	10	尺寸每超 0.1 mm 扣 2 分				
12			粗糙度	5	每降一级扣 2 分				
13		宽度尺寸	尺寸	10	尺寸每超 0.1 mm 扣 2 分				
14			粗糙度	5	每降一级扣 2 分				
15		角度	尺寸	10	尺寸每超 0.1 mm 扣 2 分				
			粗糙度	5	每降一级扣 2 分				
16	误差分析 (10 分)	零件自检		4	自检有误差每处扣 1 分，未自检扣 4 分				
17									
18		填写工件误差分析		6	误差分析不到位扣 1~4 分，未进行误差分析扣 6 分				
合计				100					
误差分析（学生填）									
考核结果（教师填）									
检验员				记分员				时间	年 月 日

### 2. 成绩评定

教师协同组长，对零件进行检测，对刀具卡、工序卡和程序单进行批改，对学生整个任务的实施过程进行分析，并填写“考核评分表”对每个学生进行成绩评定。



## 4.5 探究与拓展

### 4.5.1 问题探究

- (1) 对影响尺寸精度的因素及改进方法进行探究，并填写表 4-5。
- (2) 对加工过程中出现过切的原因进行分析，并提出改进措施。

表 4-5 影响尺寸精度的因素及改进方法

序 号	影 响 因 素	改进方法及保证措施
1	工件定位与装夹	
2	刀具的磨损与刚度	
3	切削温度	
4	切削参数	
5	工件测量	

### 4.5.2 知识拓展——高速加工的要求与注意事项

高速加工主要是指在主轴的高转速、高的进给速度及高的进给加速度的情况下，刀具对材料进行切削加工。

高转速：刀具的旋转线速度  $v$  可达到 400 m/min。

高进给速度：进给速度通常可达到 2 000~4 000 mm/min。

#### 1) 高速加工对刀具的要求

如此高的转速和进给速度对于刀具的要求也非常高。所以在高速加工中使用的刀具大多为碳化钛 (TiC)、氮化钛 (TiN)、金刚石 (DP) 涂层刀具和陶瓷 (CN) 或立方氮化硼 (CBN) 刀具。

#### 2) 高速加工对机床的要求

由主轴转速和进给速度的计算公式可以得出这样的结论，即在选定刀具和切削用量的情况下，进给速度与主轴的转速成正比，因此，高速加工机床不仅要有高的主轴转速，也应具备与主轴转速相匹配的高的进给速度。此外，为了保证加工轮廓的高精度，机床还必须具备高的进给加速度，如果一台高速机床没有足够高的进给加速度，那么它是无法高速地进行高精度复杂曲面轮廓加工的，因为它无法满足加工复杂曲面时根据不同的曲率半径在最短的时间内不断地调整进给速度的需要。

#### 3) 高速加工与普通加工的比较

(1) 加工质量。高速加工因使用高转速、高进给速度与小切削量，并且使用超硬刀具，能切削 HRC50~60 的淬火后材料，所以无论是被加工材料表面质量，还是尺寸精度，都比普通加工提高不少。

(2) 加工周期。高转速和高进给速度提供了高效率，减少了每个零件的加工用时，从



而缩短了模具的加工周期。

(3) 加工成本。简单看，高速加工所使用的刀具和机床比较昂贵。但就上述两项比较，因具有好的表面质量和高的尺寸精度，可以加工精密模具，而且效率高，可以缩短机床的使用时间和模具的加工周期，因而成本并未增加很多。

#### 4) 高速加工注意事项

(1) 宏程序与 DNC 不能运用于高速加工。在运行过程中，宏程序自身须运算处理，DNC 运行的最快输送速率也就是波特率为 19 200 bps，运算和输送都跟不上运行速度，所以运行中会出现滞留现象，破坏工件表面质量。

(2) 要使用小切削量。由于使用了高进给速度，如果再使用大切削量，会损坏甚至撞毁刀具。

(3) 避免加工余量不均匀。加工余量不均匀也将会损坏刀具，并直接影响到加工精度。

### 4.5.3 拓展训练

根据给定图纸，在宇龙仿真系统中完成如图 4-24 所示零件的加工仿真。

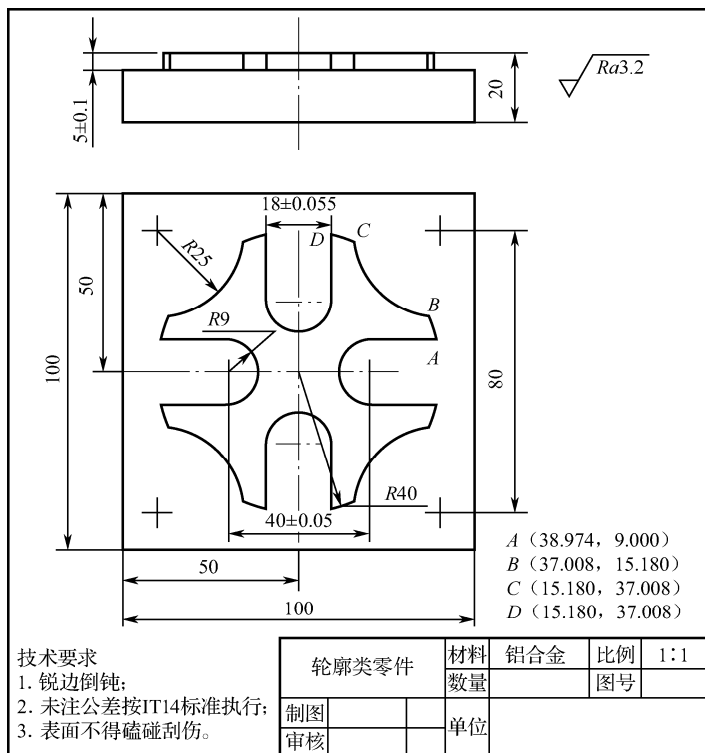


图 4-24 轮廓类零件



# 项目5

## 键槽型腔铣削加工

### 【项目导读】

键槽和型腔类零件一般带有孔或槽等腔类结构，大多为方圆结合类零件。这类零件对尺寸精度、形位精度和表面粗糙度要求都比较高，且在封闭区域内加工，加工条件差，加工难度大。本项目以键槽和型腔铣削为例，介绍该类零件加工的相关工艺知识、编程指令、相关量具及编程加工技巧等。

### 【知识目标】

1. 进一步掌握轮廓铣削的相关指令。
2. 了解键槽铣刀的特点及选用。
3. 了解深度千分尺的原理及读数方法。
4. 掌握键槽型腔铣削的工艺知识。

### 【能力目标】

1. 能够熟练编制键槽型腔零件的加工程序。
2. 能够制定键槽型腔类零件的加工工艺。
3. 能够运用自动加工功能独立完成键槽型腔类零件的加工。
4. 能够对加工零件进行准确测量。

### 【素质目标】

1. 通过规范操作，培养同学们的职业素养。
2. 培养同学们的工作计划制订和执行能力。



## 5.1 工作任务

零件如图 5-1 所示。毛坯是 6 个表面已加工尺寸为  $100\text{ mm}\times 80\text{ mm}\times 30\text{ mm}$  的铝合金件，本任务要求加工如图 5-1 所示的键槽及方形和圆形型腔，保证最后尺寸精度和表面粗糙度值。

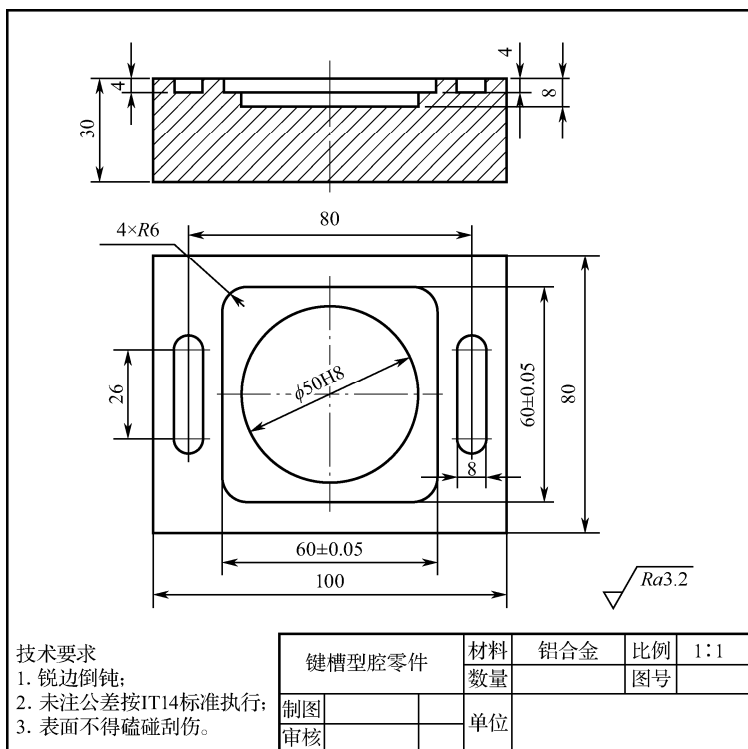


图 5-1 键槽型腔零件

## 5.2 相关知识

### 5.2.1 相关编程指令

为了简化零件的数控加工编程，使数控程序与刀具形状和刀具尺寸尽量无关，现代 CNC 系统除了具有刀具半径补偿功能外，还具有刀具的长度补偿功能，刀具长度补偿指令为 G43、G44、G49。

当一个加工程序内要使用几把刀时，由于每把刀具的长度总会有所不同，因而在同一个坐标系内，在  $Z$  值不变的情况下可能使每把刀的端面在  $Z$  方向的实际位置有所不同，这给编程带来了困难。为此，先将一把刀作为标准刀具，并以此为基础，将其他刀具的长度相对于标准刀具长度的增加或减小值作为补偿值记录在机床数控系统的寄存器中，如图 5-2 所示。在刀具做  $Z$  方向运动时，数控系统将根据已记录的补偿值

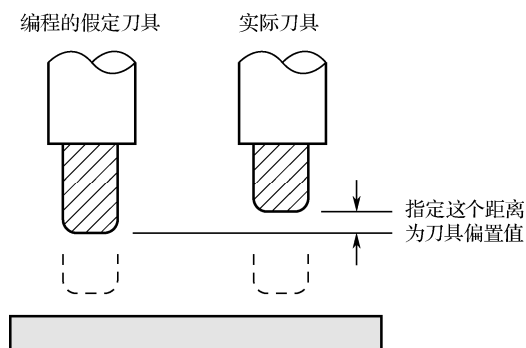


图 5-2 刀具长度补偿的含义

刀具长度补偿在发生作用前，必须先进行刀具参数的设置。设置的方法有机内试切法、机内对刀法和机外对刀法。不管采取哪种方法，所得到的数据都必须通过手动数据（MDI）方式将刀具参数输入数控系统的参数表中。

G43 指令为刀具长度补偿+（正向偏置），也就是说 Z 轴到达的实际位置为指令值与补偿值相加的位置；G44 指令为刀具长度补偿-（负向偏置），也就是说 Z 轴到达的实际位置为指令值减去补偿值的位置。G49 或 H00 为取消刀具长度补偿指令。NC 执行到 G49 或 H00 指令时，立即取消刀具长度补偿，并使 Z 轴运动到不加补偿值的指令位置。

指令格式：

G43 (G44) Z\_\_\_ H\_\_\_;

H 指定长度偏置值的地址。

## 5.2.2 键槽型腔铣削常用刀具

键槽铣刀是键槽和型腔铣削的主要刀具，如图 5-3 所示。

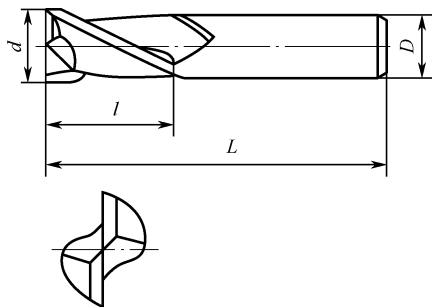


图 5-3 键槽铣刀

键槽铣刀有两个齿，圆柱面和端面都有切削刃，端面刃延伸到中心，也可以把它看作立铣刀的一种。因为中心有刃，加工时可沿轴向进给达到槽深，然后沿键槽方向铣出键槽全长。

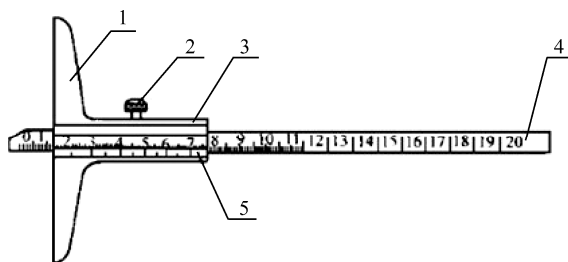


## 5.2.3 键槽和型腔的测量装置

### 1. 深度测量装置

键槽和型腔的深度通常采用深度游标卡尺和深度千分尺测量。

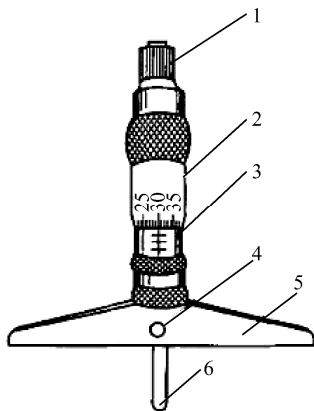
深度游标卡尺用于测量凹槽或孔的深度、梯形工件的梯层高度、长度等尺寸，平常被简称为“深度尺”。常见量程：0~100 mm、0~150 mm、0~300 mm、0~500 mm。常见精度：0.02 mm、0.01 mm。深度游标卡尺由测量基座、紧固螺钉、尺框、尺身和游标组成，如图 5-4 所示。读数方法和普通游标卡尺相同。



1—测量基座；2—紧固螺钉；3—尺框；4—尺身；5—游标

图 5-4 深度游标卡尺

深度千分尺是应用螺旋副转动原理将回转运动变为直线运动的一种量具。深度千分尺由微分筒、固定套管、测量杆、基座、测力装置、锁紧装置等组成，如图 5-5 所示。它用于机械加工中的深度、台阶等尺寸的测量，读数方法和普通千分尺相同。



1—测力装置；2—微分筒；3—固定套筒；4—锁紧装置；5—基座；6—测量杆

图 5-5 深度千分尺

### 2. 内径测量装置

键槽和型腔的长、宽及内径测量装置除普通游标卡尺外，还有内径千分尺，其读数原理和使用方法同普通千分尺。



## 5.2.4 键槽型腔加工的工艺知识

### 1. 键槽加工方法

#### 1) 下刀方法

下刀方法通常有两种：

(1) 使用立铣刀斜插式下刀。使用立铣刀时，由于端面刃不过中心，一般不宜垂直下刀，可采用斜插式下刀。所谓斜插式下刀就是在两个切削层之间，刀具从上一层的高度沿斜线以渐进的方式切入工件，直到下一层的高度，然后开始正式切削。如图 5-6 所示。采用斜插式下刀时要注意斜向切入的位置和角度的选择应适当，一般进刀角度为  $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 。

(2) 使用键槽铣刀沿 Z 轴垂直下刀。使用键槽铣刀时，由于端面刃过中心，可以沿 Z 轴直接切入工件，如图 5-7 所示。

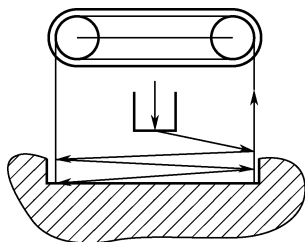


图 5-6 立铣刀斜插式下刀

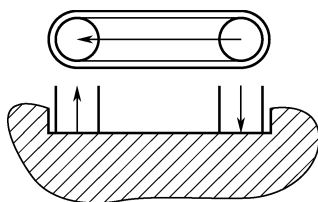


图 5-7 键槽铣刀垂直下刀

#### 2) 加工刀路设计

铣削键槽时，一般采用与键槽宽度尺寸相同的刀具，工件 Z 向采用层切法逐渐切入工件。Z 向层间采用斜插式下刀或垂直下刀，铣削出键槽长度尺寸和深度尺寸。加工精度较高的键槽时一般分为粗加工和精加工，采用小于键槽宽度尺寸的刀具。粗加工键槽时，其刀路如图 5-6、图 5-7 所示。

精加工键槽时，普遍采用顺铣、切向切入和切向切出的轮廓铣削法来加工键槽侧面，保证键槽侧面粗糙度和键槽的宽度尺寸，如图 5-8 所示。

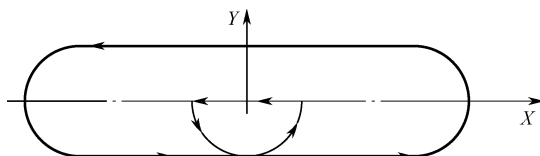


图 5-8 精加工走刀路线

### 2. 型腔加工方法

型腔铣削需要在边界线确定的一个封闭区域内去除材料。该区域由侧壁及底面围成，其侧壁和底面可以是斜面、凸台、球面及其他形状，型腔内部可以全空或有孤岛。型腔加工分为三步：型腔内部去余量、型腔轮廓粗加工、型腔轮廓精加工。

#### 1) 下刀方法

把刀具引入型腔有三种方法：





- (1) 使用键槽铣刀沿 Z 向直接下刀，切入工件。
- (2) 先用钻头钻孔，立铣刀通过孔垂直进入再用圆周铣削。
- (3) 立铣刀的端面刃不过中心，一般不宜垂直下刀，因此使用立铣刀时，宜采用螺旋下刀或者斜插式下刀。

螺旋下刀，即在两个切削层之间，刀具从上一层的高度沿螺旋线以渐进的方式切入工件，直到下一层的高度，然后开始正式切削。

## 2) 走刀路线的选择

常见的型腔走刀路线有行切、环切和综合切削三种方法，如图 5-9 所示。三种加工方法的特点是：

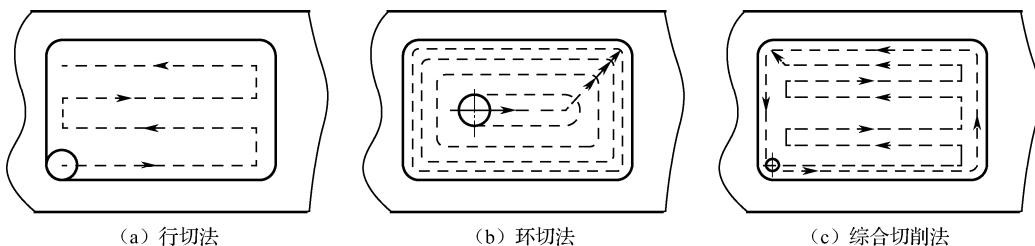


图 5-9 型腔加工走刀路线

(1) 共同特点是都能切净内腔中的全部面积，不留死角，不伤轮廓，同时尽量减小重复进给的搭接量。

(2) 不同点是行切法（见图 5-9 (a)）的进给路线比环切法短，但行切法将在两次进给的起点与终点间留下残留面积而达不到所要求的表面粗糙度；用环切法（见图 5-9 (b)）获得的表面质量要好于行切法，但环切法需要逐次向外扩展轮廓线，刀位点计算要复杂一些。

(3) 采用图 5-9 (c) 所示的进给路线，即先用行切法切去中间部分余量，最后用环切法光整轮廓表面，既能使总的进给路线较短，又能获得较好的表面质量。

## 3) 精加工刀具路径

内轮廓精加工时，切入、切出要和外轮廓一样，也可采用圆弧切入切出，保证表面粗糙度，如图 5-10 所示。

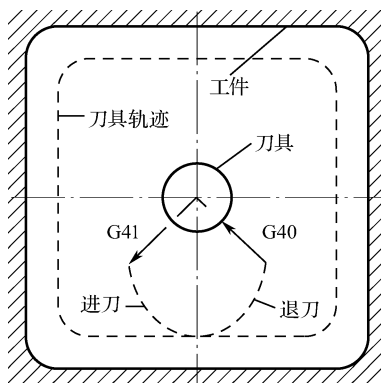


图 5-10 精加工刀具路径



## 5.3 任务实施

### 5.3.1 加工工艺设计

#### 1. 加工图样分析

该零件由两个键槽、一个方形内腔和一个圆形内腔组成。尺寸精度键槽为未注公差，方形内腔约为 IT10 级，圆形内腔为 IT8 级精度，表面粗糙度为  $Ra\ 3.2\ \mu\text{m}$ ，没有形位公差要求，加工精度要求中等。

#### 2. 加工方案确定

根据图样加工要求，键槽可采用一次粗铣完成，方形内腔采用键槽铣刀经粗铣→精铣完成，圆形内腔采用键槽刀经粗铣→精铣完成。

#### 3. 装夹方案确定

毛坯为长方体零件，可选平口虎钳装夹，工件上表面高出钳口 10 mm 左右。

#### 4. 确定刀具

加工该零件，选用键槽铣刀铣削。刀具及参数见表 5-1。

表 5-1 键槽型腔铣削刀具卡

数控加工刀具卡片		工序号	程序编号	产品名称	零件名称		材料	零件图号	
		1	O0005		键槽型腔零件		铝合金		
序号	刀具号	刀具名称	刀具规格		补偿值		刀补号		备注
			直径	长度	半径	长度	半径	长度	
1	T01	键槽刀	φ8		4		D01		高速钢
2	T02	键槽刀	φ12		6.2		D02		高速钢
编制		审核		批准		年 月 日	共 页	第 页	

#### 5. 确定加工工艺

该零件精度要求中等，对键槽和内腔的铣削可作为一道工序。键槽只需粗铣一次，内腔需对其粗铣一次，然后精铣一次，即可保证精度。加工工艺见表 5-2。

表 5-2 键槽型腔铣削工序卡

数控加工工艺卡片				产品名称	零件名称	材料	零件图号	
					键槽型腔零件	铝合金		
工序号	程序编号		夹具名称	夹具编号	使用设备	车间	工序时间	
1	O0005		平口虎钳		XKA714B/F	实训中心		
工步号	工步内容		刀具名称	主轴转速 (r/min)	进给速度 (mm/min)	背吃刀量 (mm)	侧吃刀量 (mm)	备注
1	铣键槽		T01	600	120	4		
2	粗铣内腔		T02	600	120	3.8		
3	精铣内腔		T02	800	80	4	0.2	
编制		审核		批准		年 月 日		共 页 第 页



### 5.3.2 程序编制与加工

#### 1. 工件坐标系建立

根据工件尺寸标注特点，编程坐标系原点设置在对称中心点上表面上，如图 5-11 所示。

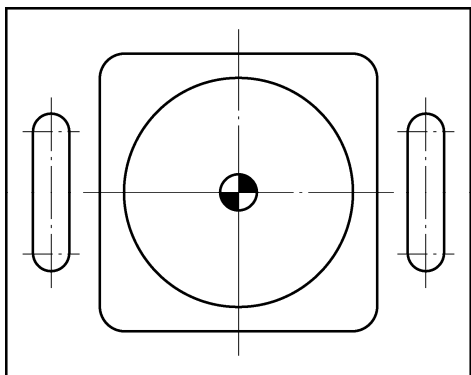


图 5-11 工件坐标系

#### 2. 基点坐标计算

键槽采用与其宽度相同的铣刀直接下刀，从一端加工到另一端的方法加工完成。方形内腔去残料和精加工走刀路线及特征点如图 5-12 所示。圆形内腔去残料和精加工走刀路线及特征点如图 5-13 所示。

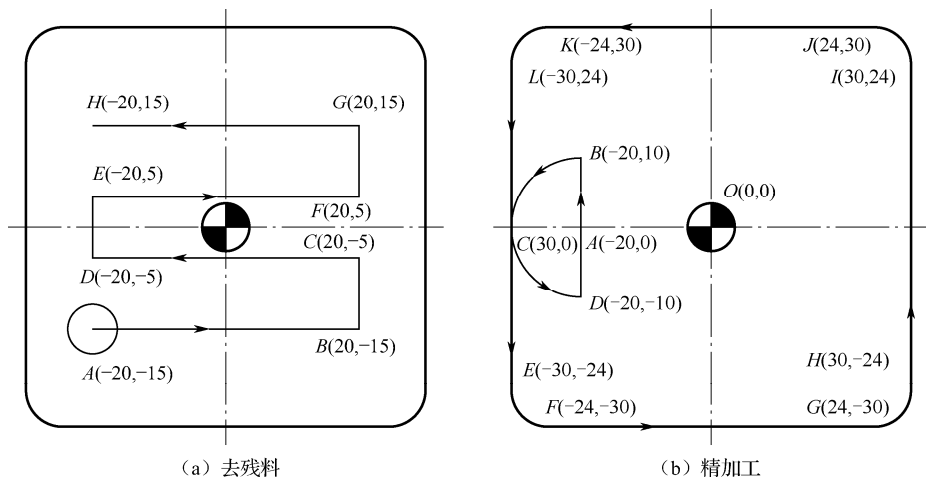


图 5-12 方形内腔去残料和精加工走刀路线及特征点

#### 3. 编制加工程序

根据前面的工艺分析和坐标计算，编制轮廓粗加工程序，如表 5-3 所示。精加工时，只需修改粗加工程序的转速、进给速度、背吃刀量和刀补值即可。并填写加工程序单。

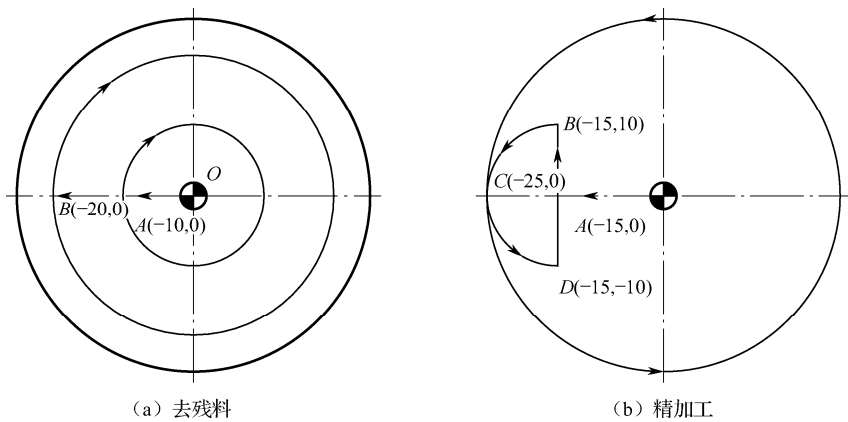


图 5-13 圆形内腔去残料和精加工走刀路线及特征点

表 5-3 外轮廓粗加工铣削程序单

数控铣削程序单			刀具号	刀具名	刀具作用
单位名称	零件名称	零件图号			
	键槽型腔零件	X05			
段号	程序号	O0005			
O0008;			程序号		
N5	G90 G54 G00 X-40 Y-13 Z100;		快速移动到 X-40Y-13 Z100 点		
N10	M03 S600;		主轴正转, 转速为 600 r/min		
N15	G43 Z50 H01;		快速到达安全高度并建立刀具长度补偿		
N20	G01 Z-4 F120;		切深到-4 mm		
N25	Y13;		切削到 Y13 点		
N30	G00 Z10;		快速抬刀到 10 mm 处		
N35	X40 Y-13;		快速移到 X40 Y-13 点		
N40	G01 Z-4 F80;		切深到-4 mm		
N45	Y13;		切削到 Y13 点		
N50	G00 Z400 M05;		抬刀至 Z400, 主轴停		
N55	M00;		程序暂停, 人工换上 $\phi 12$ 键槽刀		
N60	G90 G54 G00 X-20 Y-15 Z100;		快速移动到 X-20 Y-15 Z100 点		
N65	M03 S600;		主轴正转		
N70	G43 Z50 H02;		主轴到达安全高度, 建立刀具长度补偿		
N75	G01 Z-3.8 F120;		切深到-3.8 mm 处		
N80	X20;		直线插补到 B 点		
N85	Y-5;		直线插补到 C 点		
N90	X-20;		直线插补到 D 点		
N95	Y5;		直线插补到 E 点		



## 项目 5 键槽型腔铣削加工

续表

数控铣削程序单					刀具号	刀具名	刀具作用
单位名称		零件名称		零件图号			
		键槽型腔零件		X05			
段号	程序号		O0005				
O0008;					程序号		
N100	X20;				直线插补到 <i>F</i> 点		
N105	Y15;				直线插补到 <i>G</i> 点		
N110	X-20;				直线插补到 <i>H</i> 点		
N115	Y0;				直线移动到精加工路线的 <i>A</i> 点		
N120	G41 Y10 D02;				建立刀具半径补偿至 <i>B</i> 点		
N125	G03 X30 Y0 R10;				圆弧切入至 <i>C</i> 点		
N130	G01 Y-24;				直线插补至精加工路线的 <i>E</i> 点		
N135	G03 X-24 Y-30 R6;				圆弧插补至精加工路线的 <i>F</i> 点		
N140	G01 X24;				直线插补至精加工路线的 <i>G</i> 点		
N145	G03 X30 Y-24 R6;				圆弧插补至精加工路线的 <i>H</i> 点		
N150	G01 Y24;				直线插补至精加工路线的 <i>I</i> 点		
N155	G03 X24 Y30 R6;				圆弧插补至精加工路线的 <i>J</i> 点		
N160	G01 X-24;				直线插补至精加工路线的 <i>K</i> 点		
N165	G03 X-30 Y24 R6;				圆弧插补至精加工路线的 <i>M</i> 点		
N170	G01 Y0;				直线插补至精加工路线的 <i>C</i> 点		
N180	G03 X-20 Y-10 R10;				圆弧插补至精加工路线的 <i>D</i> 点		
N185	G40 G01 Y0;				直线插补到加工路线的 <i>A</i> 点取消刀补		
N190	G00 Z10;				快速抬刀		
N195	X0;				快速移动到原点		
N200	G01 Z-7.8 F120;				工进至 <i>Z</i> -7.8 mm 处		
N205	X-10;				直线插补至 <i>A</i> 点		
N210	G02 I10;				加工 $\phi 20$ 圆弧		
N215	G01 X20;				直线插补至 <i>B</i> 点		
N220	G02 I20;				加工 $\phi 40$ 圆弧		
N225	G01 X-15;				直线插补至精加工圆弧路线的 <i>A</i> 点加刀补		
N230	G41 Y10 D02;				直线插补至精加工圆弧路线的 <i>B</i> 点		
N235	G03 X-25 Y0 R10;				圆弧插补至精加工圆弧路线的 <i>C</i> 点		
N240	I25;				加工 $\phi 25$ 圆弧		
N245	X-15 Y-10 R10;				圆弧插补至精加工圆弧路线的 <i>D</i> 点		
N250	G40 G01 Y0;				直线插补至精加工圆弧路线 <i>A</i> 点取消刀补		
N255	G00 Z100;				抬刀		
N260	M05;				主轴停转		
N265	M30;				程序结束		
编制		审核		批准		年 月 日	共 页 第 页



#### 4. 程序调试与加工

- (1) 将实训学生分组，每组 6 人，组长给每位同学分配操作任务。
- (2) 将程序输入数控系统，先进行图形模拟，然后，分别进行粗、精加工，保证最后尺寸和表面粗糙度。
- (3) 加工完成，卸下工件，清理机床。

### 5.4 考核评价

#### 1. 学生自检

学生完成零件自检，填写“考核评分表”，见表 5-4。并同刀具卡、工序卡和程序单一起上交。

表 5-4 项目五考核评分表

零件名称				零件图号				操作人员				完成工时			
序号	鉴定项目及标准			配分	评分标准（扣完为止）				自检	检查结果	得分				
1	任务实施 (45 分)	填写刀具卡		5	刀具选用不合理扣 5 分										
2		填写加工工序卡		5	工序编排不合理每处扣 1 分，工序卡填写不正确每处扣 1 分										
3		填写加工程序单		10	程序编制不正确每处扣 1 分										
4		工件安装		3	装夹方法不正确扣 3 分										
5		刀具安装		3	刀具安装不正确扣 3 分										
6		程序录入		3	程序输入不正确每处扣 1 分										
7		对刀操作		3	对刀不正确每次扣 1 分										
8	任务实施 (45 分)	零件加工过程		3	加工不连续，每中止一次扣 1 分										
9		完成工时		4	每超时 5 min 扣 1 分										
10		安全文明		6	撞刀、未清理机床和保养设备扣 6 分										
11	工件质量 (45 分)	键槽	尺寸	10	尺寸每超 0.1 mm 扣 2 分										
12			粗糙度	5	每降一级扣 2 分										
13		方形型腔	尺寸	10	尺寸每超 0.01 mm 扣 2 分										
14			粗糙度	5	每降一级扣 2 分										
15		圆形型腔	尺寸	10	尺寸每超 0.01 mm 扣 2 分										
			粗糙度	5	每降一级扣 2 分										
16	误差分析 (10 分)	零件自检		4	自检有误差每处扣 1 分，未自检扣 4 分										
17															



续表

零件名称		零件图号		操作人员		完成工时		
序号	鉴定项目及标准		配分	评分标准（扣完为止）		自检	检查结果	得分
18	误差分析 （10 分）	填写工件误差分析	6	误差分析不到位扣 1～4 分，未进行误差分析扣 6 分				
合计			100					
误差分析（学生填）								
考核结果（教师填）								
检验员			记分员	时间		年 月 日		

2. 成绩评定

教师协同组长，对零件进行检测，对刀具卡、工序卡和程序单进行批改，对学生整个任务的实施过程进行分析，并填写“考核评分表”对每个学生进行成绩评定。

5.5 探究与拓展

5.5.1 问题探究

对影响刀具使用寿命的因素进行探究，并填写表 5-5。

表 5-5 刀具寿命影响因素分析表

影响刀具使用寿命的因素	主要影响及改进措施
工件材料	
刀具材料	
切削用量	
加工条件	
切削温度	
刀具几何参数	

5.5.2 知识拓展——柔性制造系统简介

柔性制造系统是由统一的信息控制系统、物料储运系统和一组数字控制加工设备组成，能适应加工对象变换的自动化机械制造系统（Flexible Manufacturing System，FMS）。

1. 发展历程

1967 年，英国莫林斯公司首次根据威廉森提出的 FMS 基本概念，研制了“系统 24”。其主要设备是 6 台模块化结构的多工序数控机床，目标是在无人看管条件下，实现昼夜 24 h 连续加工，但最终由于经济和技术上的困难而未全部建成。

1967 年，美国的怀特·森斯特兰公司建成 Omniline I 系统，它由 8 台加工中心和两台多轴钻床组成，工件被装在托盘上的夹具中，按固定顺序以一定节拍在各机床间传送和进行加工。这种柔性自动化设备适合在少品种、大批量生产中使用，在形式上与传统的自动生产线相似，所以也叫柔性自动线。日本、前苏联、德国等也都先后开展了 FMS 的研制工作。



1976 年,日本发那科公司展出了由加工中心和工业机器人组成的柔性制造单元(简称 FMC),为发展 FMS 提供了重要的设备形式。柔性制造单元(FMC)一般由 12 台数控机床与物料传送装置组成,有独立的工件储存站和单元控制系统,能在机床上自动装卸工件,甚至自动检测工件,可实现有限工序的连续生产,适于多品种、小批量生产应用。

随着时间的推移,FMS 在技术上和数量上都有较大发展,实用阶段,以由 3~5 台设备组成的 FMS 为最多,但也有规模更庞大的系统投入使用。

1982 年,日本发那科公司建成自动化电机加工车间,由 60 个柔性制造单元(包括 50 个工业机器人)和一个立体仓库组成,另有两台自动引导台车传送毛坯和工件,此外还有一个无人化电机装配车间,它们都能连续 24 h 运转。

这种自动化和无人化车间,是向实现计算机集成的自动化工厂迈出的重要一步。与此同时,还出现了若干仅具有 FMS 基本特征,但自动化程度不很完善的经济型 FMS,使 FMS 的设计思想和技术成就得到普及应用。

### 2. 工艺基础

FMS 的工艺基础是成组技术,它按照成组的加工对象确定工艺过程,选择相适应的数控加工设备和工件、工具等物料的储运系统,并由计算机进行控制,故能自动调整并实现一定范围内多种工件的成批高效生产(即具有“柔性”),并能及时改变产品以满足市场需求。

FMS 兼有加工制造和部分生产管理两种功能,因此能综合提高生产效益。FMS 的工艺范围正在不断扩大,可以包括毛坯制造、机械加工、装配和质量检验等。投入使用的 FMS,大都用于切削加工,也有用于冲压和焊接的。

### 3. 系统组成

加工设备主要采用加工中心和数控车床,前者用于加工箱体类和板类零件,后者则用于加工轴类和盘类零件。中大批量、少品种生产中所用的 FMS,常采用可更换主轴箱的加工中心,以获得更高的生产效率。

### 4. 储存和搬运

储存和搬运系统搬运的物料有毛坯、工件、刀具、夹具、检具和切屑等;储存物料的方法有平面布置的托盘库,也有储存量较大的桁道式立体仓库。

毛坯一般先由工人装入托盘上的夹具中,并储存在自动仓库中的特定区域内,然后由自动搬运系统根据物料管理计算机的指令送到指定的工位。固定轨道式台车和传送滚道适用于按工艺顺序排列设备的 FMS,自动引导台车搬送物料的顺序则与设备排列位置无关,具有较大的灵活性。

工业机器人可在有限的范围内为 1~4 台机床输送和装卸工件,对于较大的工件常利用托盘自动交换装置(简称 APC)来传送,也可采用在轨道上行走的机器人,同时完成工件的传送和装卸。

磨损了的刀具可以逐个从刀库中取出更换,也可由备用的子刀库取代装满待换刀具的刀库。车床卡盘的卡爪、特种夹具和专用加工中心的主轴箱也可以自动更换。切屑运送和处理系统是保证 FMS 连续正常工作的必要条件,一般根据切屑的形状、排出量和处理要求来选择经济的结构方案。





## 5. 信息控制

FMS 信息控制系统的结构组成形式很多,但一般多采用群控方式的递阶系统。第一级为各个工艺设备的计算机数控装置(CNC),实现各加工过程的控制;第二级为群控计算机,负责把来自第三级计算机的生产计划和数控指令等信息,分配给第一级中有关设备的数控装置,同时把它们运转状况信息上报给上级计算机;第三级是 FMS 的主计算机(控制计算机),其功能是制订生产作业计划,实施 FMS 运行状态的管理及各种数据的管理;第四级是全厂的管理计算机。

性能完善的软件是实现 FMS 功能的基础,除支持计算机工作的系统软件外,数量更多的是根据使用要求和用户经验所发展的专门应用软件,大体上包括控制软件(控制机床、物料储运系统、检验装置和监视系统)、计划管理软件(调度管理、质量管理、库存管理、工装管理等)和数据管理软件(仿真、检索和各种数据库)等。

### 5.5.3 拓展训练

图 5-14、图 5-15 所示的零件,毛坯尺寸为  $100\text{ mm}\times 70\text{ mm}$  (或  $80\text{ mm}$ )  $\times 30\text{ mm}$ ,材料为铝合金,6 个表面已经加工,试编程并加工加工轮廓及型腔。

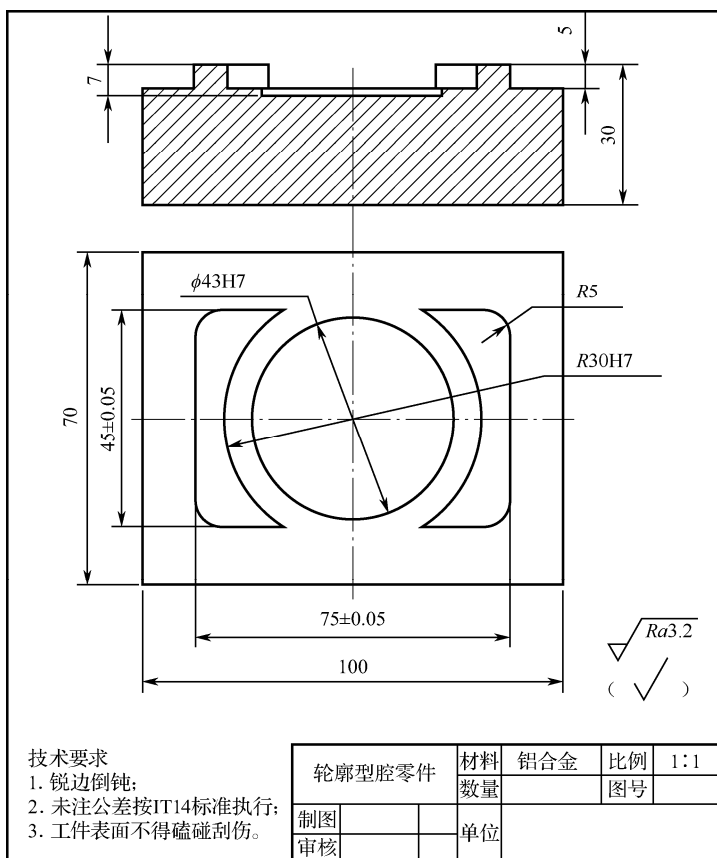


图 5-14 拓展训练图(1)

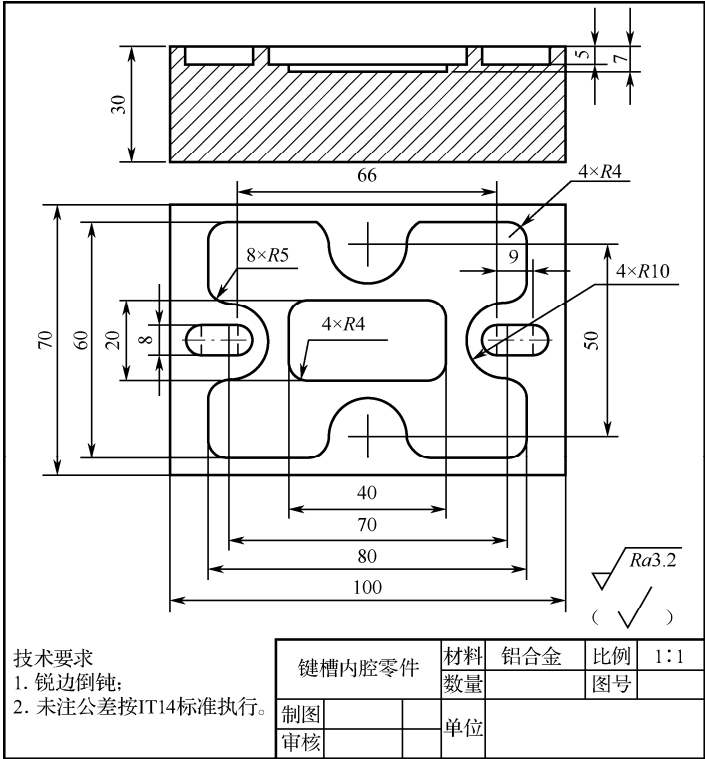


图 5-15 拓展训练图 (2)



# 项目6

## 孔加工

### 【项目导读】

孔加工在金属切削中占有很大的比重，应用广泛，在数控铣床上加工孔的方法很多，根据孔的尺寸精度、位置精度及表面粗糙度等要求，一般有点孔、钻孔、扩孔、铰孔、铰孔、镗孔及铣孔等。本项目以孔类零件加工为例，介绍孔加工的编程指令、相关量具、工艺知识及编程加工技巧等。

### 【知识目标】

1. 掌握固定循环指令的含义及编程格式。
2. 了解麻花钻、中心钻、扩孔钻、铰刀、镗刀、丝锥等刀具的特点及选用。
3. 掌握内径百分表的读数方法。
4. 掌握孔加工的工艺知识。

### 【能力目标】

1. 能够利用固定循环指令编制出孔的加工程序。
2. 能够制定孔类零件的加工工艺。
3. 能够运用自动加工功能独立完成孔类零件的加工。
4. 能够对孔进行准确测量。

### 【素质目标】

1. 通过严格的精度测量，培养同学们的质量意识。
2. 通过工时定额，培养同学们的效率意识。

零件如图 6-1 所示。毛坯是 100 mm×100 mm×30 mm 的 45 号钢,  $\phi 60$  的凸台和其他表面都已加工。本任务要求加工零件上的所有孔, 并保证孔的尺寸精度和表面粗糙度值。

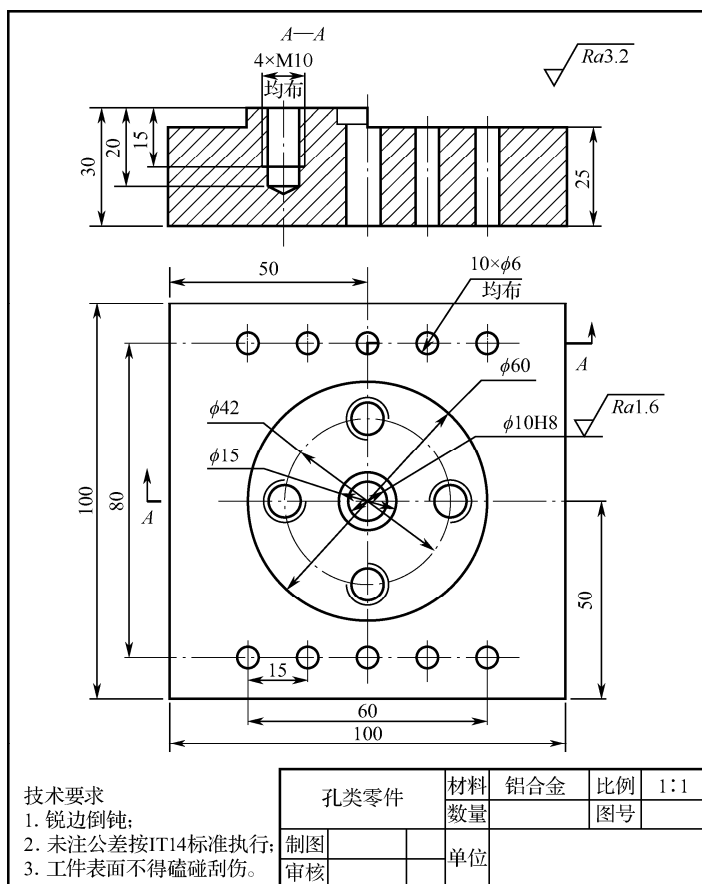


图 6-1 孔类零件图

## 6.2 相关知识

### 6.2.1 孔类零件加工相关编程指令

### 1. 固定循环指令 ( G73、G74、G76、G80~G89 )

在数控加工中，一些典型的加工程序，如钻孔，一般需要快速接近工件、慢速钻孔、快速回退等动作。这些典型的、固定的几个连续动作，用一条 **G** 指令来代表，这样，只需用单一程序段的指令程序即完成加工，这样的指令称为固定循环指令。表 6-1 列出了所有的固定循环指令。



表 6-1 孔加工固定循环指令

G 代码	加工运动 (Z轴负向)	孔底动作	返回运动 (Z轴正向)	应 用
G73	分次, 切削进给	—	快速定位进给	高速深孔钻削
G74	切削进给	暂停-主轴正转	切削进给	左旋螺纹攻丝
G76	切削进给	主轴定向, 让刀	快速定位进给	精镗循环
G80	—	—	—	取消固定循环
G81	切削进给	—	快速定位进给	普通钻削循环
G82	切削进给	暂停	快速定位进给	钻削或粗镗削
G83	分次, 切削进给	—	快速定位进给	深孔钻削循环
G84	切削进给	暂停-主轴反转	切削进给	右螺纹攻丝
G85	切削进给	—	切削进给	镗削循环
G86	切削进给	主轴停	快速定位进给	镗削循环
G87	切削进给	主轴正转	快速定位进给	反镗削循环
G88	切削进给	暂停-主轴停	手动	镗削循环
G89	切削进给	暂停	切削进给	镗削循环

对钻孔用循环指令, 其固定循环指令由 6 步形成, 如图 6-2 所示。

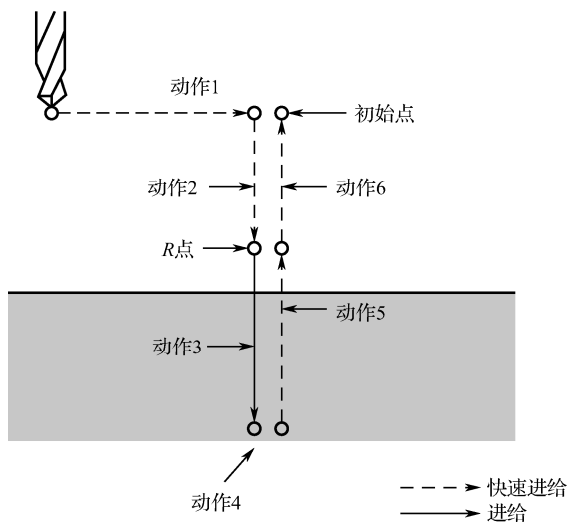


图 6-2 固定循环的步骤

- 第一步: 快速移动到指定位置。
- 第二步: 沿 Z 轴快速移动, 并到达 R 点。
- 第三步: 切削进给加工
- 第四步: 孔底动作 (暂停、主轴停、主轴反转等)。
- 第五步: 返回到 R 点 (快速返回和切削进给返回)。
- 第六步: 快速返回到初始点。



初始平面是为安全下刀而规定的一个平面，其到零件表面的距离可以任意设定在一个安全的高度上， $R$  点平面刀具下刀时自快进转为工进的平面，据工件表面的距离主要考虑工件表面尺寸的变化，一般可取  $2 \sim 5 \text{ mm}$ 。

固定循环指令中地址  $R$  与地址  $Z$  的数据指定与  $G90$  或  $G91$  的方式选择有关，图 6-3 表示了  $G90$  时的坐标计算方法，图 6-4 表示了选用  $G91$  时的坐标计算方法。选用  $G90$  时  $R$  与  $Z$  一律取其终点坐标值；选择  $G91$  方式时，则  $R$  是自初始点到  $R$  点的距离， $Z$  是指自  $R$  点到孔底平面上  $Z$  点的距离。

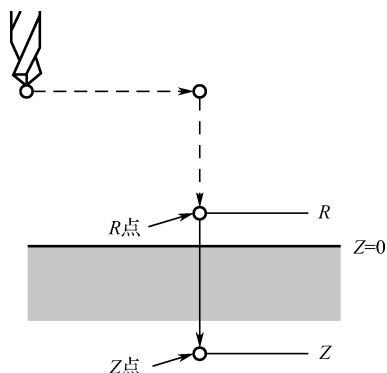


图 6-3  $G90$  时的坐标计算方法

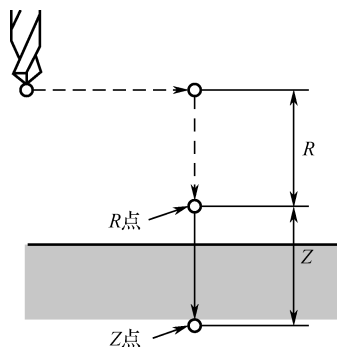


图 6-4  $G91$  时的坐标计算方法

$G98$  和  $G99$  两个模态指令控制孔加工循环结束后刀具是返回初始平面还是  $R$  点平面， $G98$  返回到初始平面，为默认方式， $G99$  返回到  $R$  点平面，如图 6-5、图 6-6 所示。

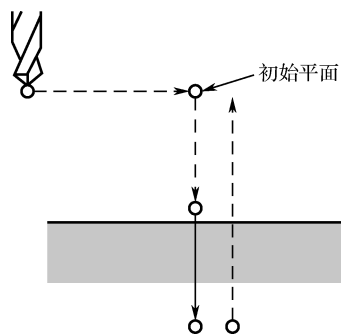


图 6-5  $G98$  的含义

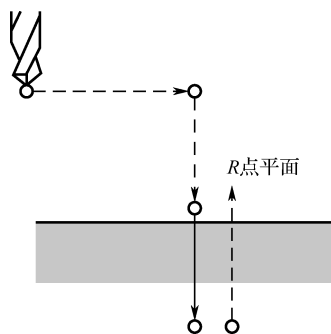


图 6-6  $G99$  的含义

一般来说，如果被加工的孔在一个平整的平面上，可以使用  $G99$  指令，因为  $G99$  模态下返回  $R$  点进行下一个孔的定位，而一般编程中  $R$  点非常靠近工件表面，这样可以缩短零件加工时间。但如果工件表面有高于被加工孔的凸台或筋，则使用  $G99$  时就非常有可能使刀具和工件发生碰撞，这时就应该使用  $G98$ ，使  $Z$  轴返回初始点后再进行下一个孔的定位，这样就比较安全。

使用  $G80$  或  $01$  组  $G$  代码，可以取消固定循环。在  $K$  中指定重复次数，对等间距孔进行重复钻孔， $K$  仅在指定的程序段内有效。用增量方式 ( $G91$ ) 指定第一孔位置。如果用绝对值方式指定，则在相同位置重复钻孔。如果指定  $K0$ ，则钻孔数据被存储，但不执行钻孔。



### (1) 高速排屑钻孔循环 (G73)

该指令执行高速排屑钻孔，它执行间歇切削进给直到孔的底部，同时从孔中排出切屑。

指令格式：

G73 X\_\_Y\_\_Z\_\_R\_\_Q\_\_F\_\_K\_\_；

式中 X、Y——被加工孔位置数据，即以绝对值方式或增量值方式指定被加工孔的位置，

刀具向被加工孔运动的轨迹和速度与 G00 相同；

Z——在绝对值方式下，指定的是沿 Z 轴方向孔底的位置，即孔底坐标，在增量值方式下，指定的是从 R 点到孔底的距离；

R——在绝对值方式下，指定的是沿 Z 轴方向 R 点的位置，即 R 点的坐标值，在增量方式下，指定从初始点到 R 点的距离；

Q——每次切削进给的切削深度；

F——切削进给速度；

K——重复次数（如果需要的话）。

G73 刀具路径如图 6-7 所示。

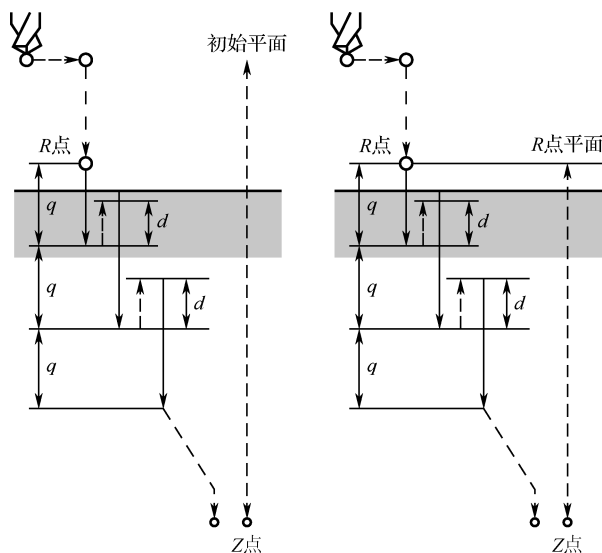


图 6-7 G73 刀具路径

当在固定循环中指定刀具长度偏置 (G43、G44 或 G49) 时，在定位到 R 点时加偏置。

不能在同一程序段中指定 0 组 G 代码 (G00、G01、G02、G03) 和 G73，否则，G73 将被取消。在固定循环中，刀具半径补偿被忽略。

### (2) 左旋攻丝循环 (G74)

该循环执行左旋攻丝。在左旋攻丝循环中，当到达孔底时，主轴顺时针旋转。

指令格式：

G74 X\_\_Y\_\_Z\_\_R\_\_P\_\_F\_\_K\_\_；



式中, P 表示暂停时间; 其余参数同 G73。

G74 刀具路径如图 6-8 所示。

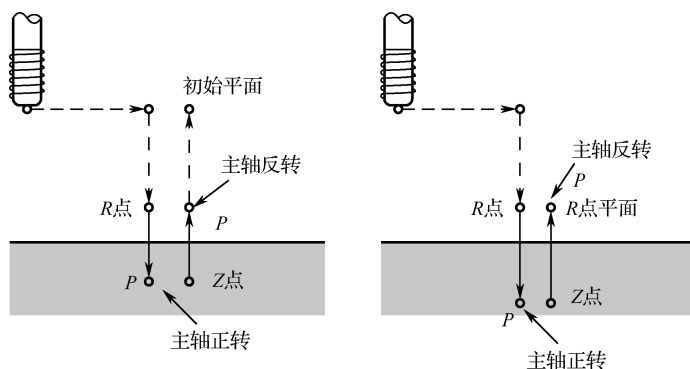


图 6-8 G74 刀具路径

在使用左螺纹攻丝循环时, 循环开始以前必须给 M04 指令使主轴反转, 并且使  $F$  与  $S$  的比值等于螺距。另外, 在 G74 或 G84 循环进行中, 进给倍率开关和进给保持开关的作用将被忽略, 即进给倍率被保持在 100%, 而且在一个固定循环执行完毕之前不能中途停止。

### (3) 精镗循环 (G76)

精镗循环镗削精密孔。当到达孔底时, 主轴停止, 切削刀具离开工件被加工表面并返回。

指令格式:

G76X\_\_Y\_\_Z\_\_R\_\_Q\_\_P\_\_F\_\_K\_\_;

式中, P 表示孔底暂停时间; Q 表示孔底的偏移量; 其余参数同上。

G76 刀具路径如图 6-9 所示。

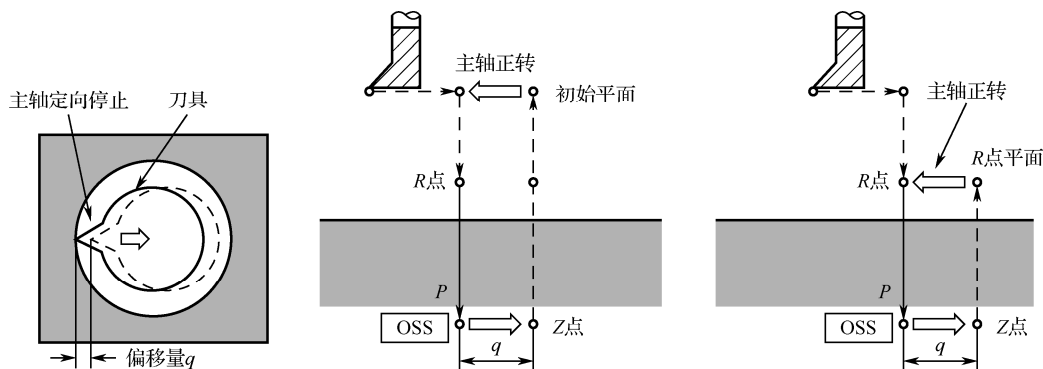


图 6-9 G76 刀具路径

### (4) 取消固定循环 (G80)

G80 指令被执行以后, 固定循环 (G73、G74、G76、G81~G89) 被该指令取消, R 点和 Z 点的参数以及除  $F$  外的所有孔加工参数均被取消。

指令格式:





G80;

### (5) 钻孔循环、钻中心孔循环 (G81)

该循环用于正常钻孔。切削进给执行到孔底，然后刀具从孔底快速移动退回。

指令格式：

G81X\_\_\_Y\_\_\_Z\_\_\_R\_\_\_F\_\_\_K\_\_\_;

参数含义同上。

G81 刀具路径如图 6-10 所示。

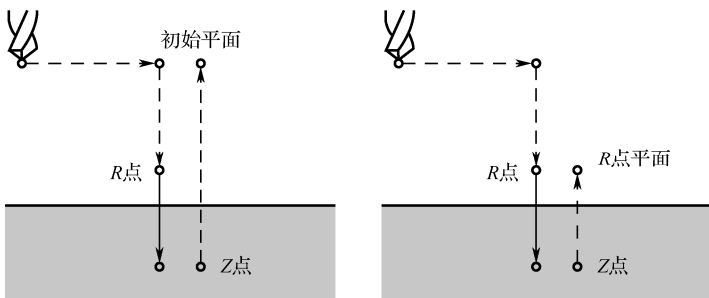


图 6-10 G81 刀具路径

### (6) 钻孔循环、粗镗削循环 (G82)

该循环用于正常钻孔。切削进给执行到孔底，执行暂停后，刀具从孔底快速移动退回。

指令格式：

G82X\_\_\_Y\_\_\_Z\_\_\_R\_\_\_P\_\_\_F\_\_\_K\_\_\_;

参数含义同上。

G82 刀具路径如图 6-11 所示。

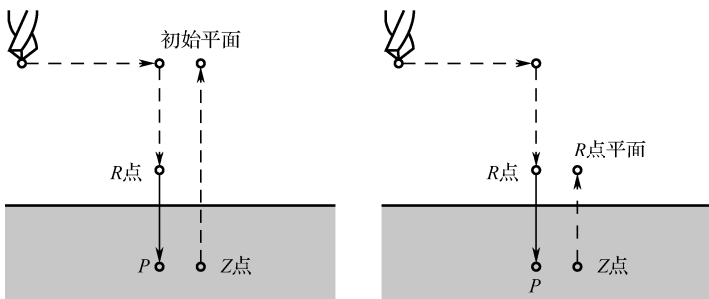


图 6-11 G82 刀具路径

### (7) 深孔钻削循环 (G83)

该循环执行深孔钻。与 G73 指令相似，G83 指令下从 R 点到 Z 点的进给也分段完成；与 G73 指令不同的是，每段进给完成后，Z 轴返回的是 R 点，然后以快速进给速率运动到距离下一段进给起点上方  $d$  的位置开始下一段进给运动。每段进给的距离由孔加工参数  $Q$



给定,  $O$  始终为正值。

指令格式:

G83X    Y    Z    R    Q    F    K    ;

参数含义同上。

G83 刀具路径如图 6-12 所示。

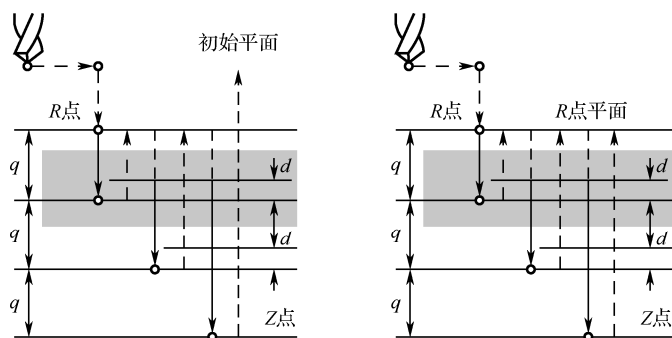


图 6-12 G83 刀具路径

### (8) 攻丝循环 (G84)

该循环执行攻丝。在这个攻丝循环中，当到达孔底时，主轴以反方向旋转。

指令格式:

G84X    Y    Z    R    P    F    K    ;

参数含义同上。

G84 刀具路径如图 6-13 所示。

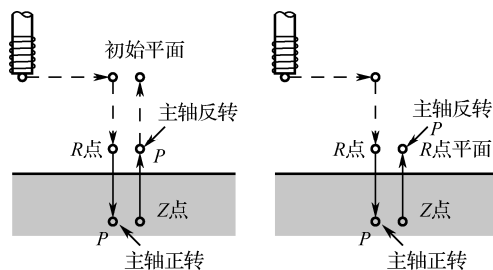


图 6-13 G84 刀具路径

### (9) 镗孔循环 (G85)

该循环用于镗孔。该固定循环非常简单，执行过程如下： $X$ 、 $Y$  轴定位， $Z$  轴快速到  $R$  点，以  $F$  给定的速度进给到  $Z$  点，以  $F$  给定速度返回  $R$  点，如果在  $G98$  模态下，返回  $R$  点后快速返回初始点。

指令格式:

G85X\_Y\_Z\_R\_F\_K\_;

参数含义同上。



G85 刀具路径如图 6-14 所示。

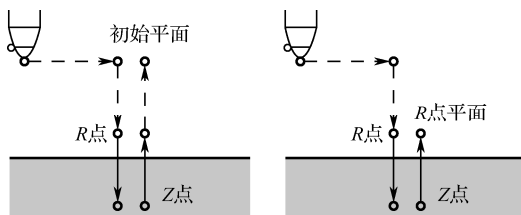


图 6-14 G85 刀具路径

#### (10) 镗孔循环 (G86)

该循环用于镗孔。该固定循环的执行过程和 G81 相似，不同之处是 G86 中刀具进给到孔底时使主轴停止，快速返回到 R 点或初始点时再使主轴以原方向、原转速旋转。

指令格式：

G86X\_\_Y\_\_Z\_\_R\_\_F\_\_K\_\_；

参数含义同上。

G86 刀具路径如图 6-15 所示。

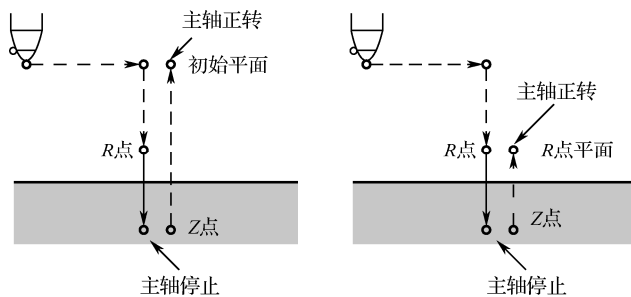


图 6-15 G86 刀具路径

#### (11) 背镗孔循环 (G87)

该循环用于精密镗孔。G87 循环中，X、Y 轴定位后，主轴定向，X、Y 轴向指定方向移动由加工参数 Q 给定的距离，以快速进给速度运动到孔底 (R 点)，X、Y 轴恢复原来的位置，主轴以给定的速度和方向旋转，Z 轴以 F 给定的速度进给到 Z 点；然后主轴再次定向，X、Y 轴向指定方向移动 Q 指定的距离，以快速进给速度返回初始点，X、Y 轴恢复定位位置，主轴开始旋转。

该固定循环用于图 6-16 所示的孔的加工。该指令不能使用 G99。

指令格式：

G87X\_\_Y\_\_Z\_\_R\_\_Q\_\_P\_\_F\_\_K\_\_；

式中，Q 表示沿 X、Y 轴向指定方向移动的距离；其余参数含义同上。

G87 刀具路径如图 6-17 所示。

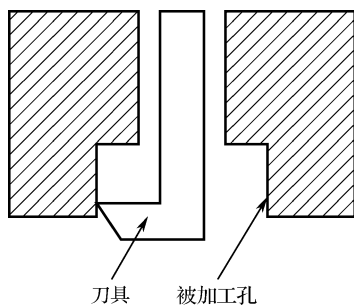


图 6-16 G87 适用场合

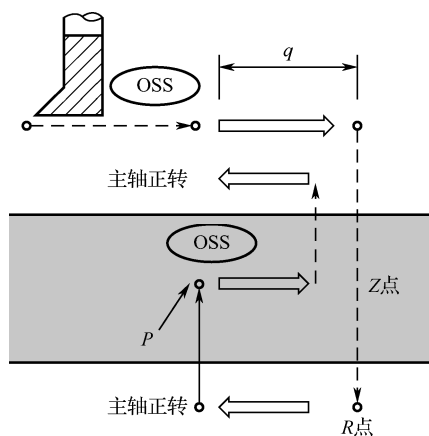


图 6-17 G87 刀具路径

### (12) 镗孔循环 (G88)

该循环用于镗孔，是带有手动返回功能的用于镗削的固定循环。沿着  $X$  和  $Y$  轴定位以后，快速移动到  $R$  点，然后从  $R$  点到  $Z$  点执行镗孔。当镗孔完成后，执行暂停，然后主轴停止。刀具从孔底手动返回到  $R$  点。在  $R$  点，主轴正转，并且快速移动到初始位置。

指令格式：

G88X\_\_Y\_\_Z\_\_R\_\_P\_\_F\_\_K\_\_；

参数含义同上。

G88 刀具路径如图 6-18 所示。

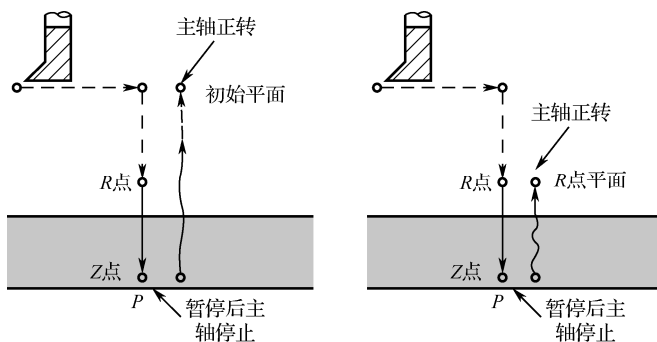


图 6-18 G88 刀具路径

### (13) 镗孔循环 (G89)

该循环用于镗孔。它与 G85 几乎相同，不同的是该循环在孔底执行暂停。

指令格式：

G89X\_\_Y\_\_Z\_\_R\_\_P\_\_F\_\_K\_\_；

参数含义同上。



G89 刀具路径如图 6-19 所示。

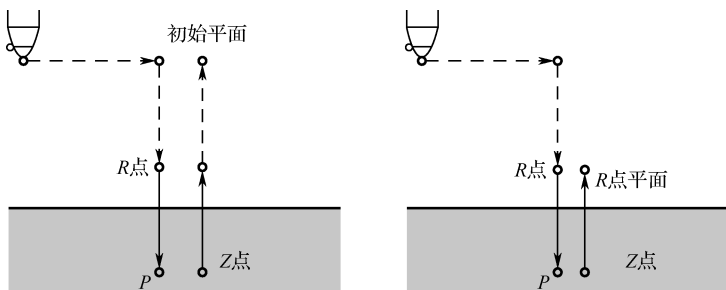


图 6-19 G89 刀具路径

## 2. 刚性攻丝指令

在攻丝循环 G84 或反攻丝循环 G74 的前一程序段指令为 M29Sx x x x;，则机床进入刚性攻丝模式。NC 执行到该指令时，主轴停止，然后主轴正转指示灯亮，表示进入刚性攻丝模式，其后的 G74 或 G84 循环被称为刚性攻丝循环。在刚性攻丝循环中，主轴每转一转，沿丝锥轴产生一定的进给（螺纹导程），即使在减速期间，这个操作也不变化。即主轴转速和 Z 轴的进给严格成比例同步，因此可以使用刚性夹持的丝锥进行螺纹孔的加工，而不必用标准攻丝中使用的浮动丝锥夹头，可以提高螺纹孔的加工速度，提高加工效率。

使用 G80 和 01 组 G 代码都可以解除刚性攻丝模式，另外复位操作也可以解除刚性攻丝模式。

指令格式同标准攻丝的 G74、G84。

使用刚性攻丝循环需注意以下事项：

- (1) G74 或 G84 中指令的  $F$  值与 M29 程序段中指令的  $S$  值的比值 ( $F/S$ ) 即为螺纹孔的螺距值。
- (2) Sx x x x 必须小于参数指定的值，否则执行固定循环指令时出现编程报警。
- (3)  $F$  值必须小于切削进给的上限值，否则出现编程报警。
- (4) 在 M29 指令和固定循环的 G 指令之间不能有 S 指令或任何坐标运动指令。
- (5) 不能在攻丝循环模式下执行 M29 指令。
- (6) 不能在取消刚性攻丝模式后的第一个程序段中执行 S 指令。
- (7) 不要在试运行状态下执行刚性攻丝指令。

## 6.2.2 孔加工常用刀具

### 1. 钻孔刀具及其选择

钻孔刀具较多，有普通麻花钻、可转位浅孔钻、喷吸钻及扁钻等，应根据工件材料、加工尺寸及加工质量要求等合理选用。

在普通机床上钻孔，普通麻花钻应用最广泛，尤其是加工  $\phi 30$  mm 以下的孔时，以麻花钻为主，如图 6-20 所示，分别为锥柄和直柄麻花钻。

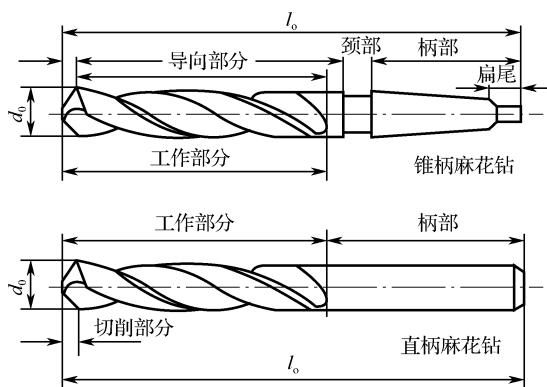


图 6-20 普通麻花钻

在数控铣床上钻孔，因无钻模导向，受两切削刃上的切削力不对称的影响，容易引起钻孔偏斜。为保证孔的位置精度，在钻孔前最好先用中心钻钻一中心孔，或用一刚性较好的短钻头钻一个窝。中心钻主要用于孔的定位，由于切削部分的直径较小，所以中心钻钻孔时，应选取较高的转速。对于深径比大于 5 而小于 100 的深孔，由于加工中散热差、排屑困难、钻杆刚性差，易使刀具损坏和引起孔的轴线偏斜，影响加工精度和生产率，故应选深孔刀具加工。

## 2. 扩孔刀具及其选择

扩孔多用扩孔钻，也有用镗刀或立铣刀扩孔的。扩孔钻可以用来扩大孔径，提高孔加工精度。用扩孔钻扩孔精度可达 IT10~IT11，表面粗糙度值可达  $Ra\ 6.3\sim3.2\ \mu\text{m}$ 。扩孔钻与麻花钻相似，但齿数较多，一般为 3~4 个齿；扩孔钻加工余量小，主切削刃较短，无须延伸到中心，无横刃，加之齿数较多，可选择较大的切削用量。

图 6-21 所示为整体式和套式扩孔钻。

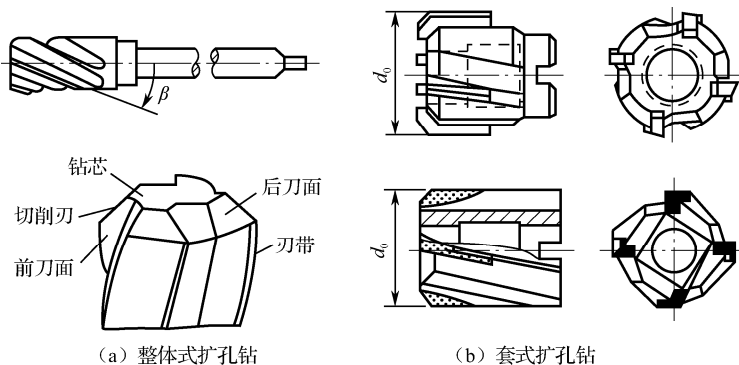


图 6-21 扩孔钻

## 3. 铰孔刀具及其选择

铰孔加工精度一般可达 IT8~IT9 级，孔的表面粗糙度值可达  $Ra\ 1.6\sim0.8\ \mu\text{m}$ ，可用于孔的精加工，也可用于磨孔或研孔前的预加工。铰孔只能提高孔的尺寸精度、形状精度和减小表面粗糙度值，而不能提高孔的位置精度。因此，对于精度要求较高的



孔，在铰孔前应先进行减小和消除位置误差的预加工，才能保证铰孔质量。图 6-22 所示为铰刀。

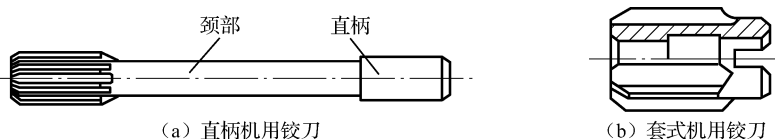


图 6-22 铰刀

#### 4. 镗孔加工刀具及其选择

镗孔是数控铣床上的主要加工内容之一，它能准确地保证孔系的尺寸精度和位置精度，并纠正上道工序的误差。在数控铣床上进行镗孔加工通常采用悬臂方式，因此要求镗刀有足够的刚性和较好的精度。

镗孔加工精度一般可达 IT6~IT7 级，表面粗糙度值可达  $Ra\ 6.3\sim 0.8\ \mu\text{m}$ ，如图 6-23 所示。

在精镗孔中，目前较多选用精镗微调镗刀，如图 6-24 所示。这种镗刀径向尺寸可在一定范围内进行微调，且调节方便，精度高。

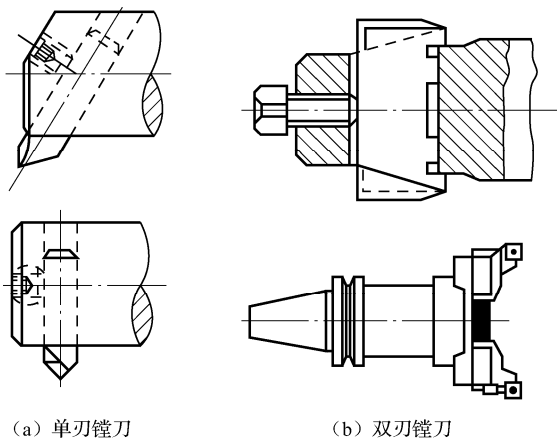


图 6-23 镗刀

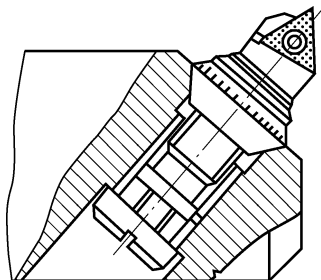


图 6-24 微调镗刀

#### 5. 铤孔刀具及其选择

铤孔是指在已加工的孔上加工圆柱形沉头孔、锥形沉头孔和凸台断面等。铤孔时使用的刀具称为铤钻，一般用高速钢制造。单件或小批量生产时，常把麻花钻修磨成铤钻使用。常见的铤钻有三种，圆柱形沉头孔铤钻、锥形沉头孔铤钻及端面凸台铤钻，如图 6-25 所示。

#### 6. 攻螺纹刀具及其选择

丝锥是数控机床加工内螺纹的一种常用工具，其基本结构是一个轴向开槽的外螺纹，一般丝锥的容屑槽制成直的，也有的做成螺旋形，容易排屑。加工右旋通孔螺纹时，选用左旋丝锥；加工右旋不通孔螺纹时，选用右旋丝锥，如图 6-26 所示。

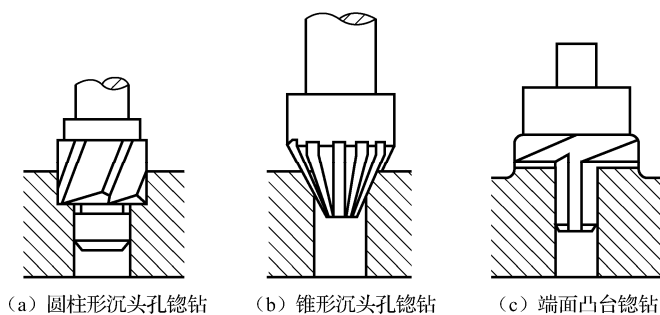


图 6-25 铰钻

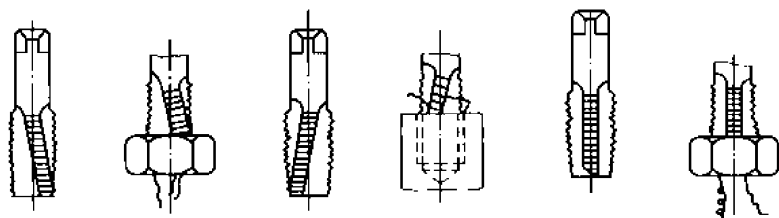


图 6-26 丝锥

### 6.2.3 内径百分表的使用

内径百分表是内量杠杆式测量架和百分表的组合，如图 6-27 所示，用以测量或检验零件的内孔、深孔直径及其形状精度。

组合时，将百分表装入连杆内，使小指针指在 0~1 的位置上，长针和连杆轴线重合，刻度盘上的字应垂直向下，以便于测量时观察，装好后应予以紧固。

粗加工时，最好先用游标卡尺或内卡钳测量。因内径百分表同其他精密量具一样属贵重仪器，其好坏与精度直接影响工件的加工精度及其使用寿命。粗加工时工件加工表面粗糙不平而测量不准确，也使测头易磨损。因此，须加以爱护和保养，精加工时再进行测量。

测量前应根据被测孔径大小用外径千分尺调整好尺寸后才能使用，如图 6-28 所示。在调整尺寸时，正确选用可换测头的长度及其伸出距离，应使被测尺寸在活动测头总移动量的中间位置。测量时，连杆中心线应与工件中心线平行，不得歪斜，同时应在圆周上多测几个点，找出孔径的实际尺寸，看是否在公差范围以内，如图 6-29 所示。



图 6-27 内径百分表



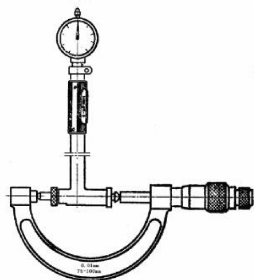


图 6-28 千分尺调整尺寸

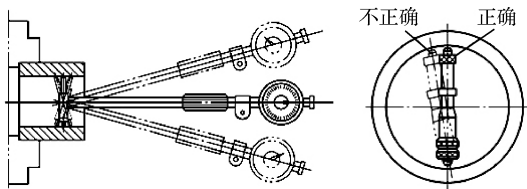


图 6-29 内径百分表的使用方法

## 6.2.4 孔加工的工艺知识

### 1. 常见的孔加工方式及所能达到的精度

根据孔的尺寸精度、位置精度和表面粗糙度要求不同，孔的加工方式也各不相同，常见的孔的加工方式及所能达到的精度如表 6-2 所示。

表 6-2 孔的加工方法及精度

序号	加工方法	经济精度	表面粗糙度 $Ra$ ( $\mu m$ )	适用范围
1	钻	IT11~IT13	12.5	加工未淬火钢及铸铁的实心毛坯，可用于加工有色金属，孔径小于 15~20 mm
2	钻→铰	IT8~IT10	1.6~6.3	
3	钻→粗铰→精铰	IT7~IT8	0.8~1.6	
4	钻→扩	IT10~IT11	6.3~12.5	加工未淬火钢及铸铁的实心毛坯，可用于加工有色金属，孔径大于 15~20 mm
5	钻	IT8~IT9	1.6~3.2	
6	钻→扩→粗铰→精铰	IT6~IT7	0.8	
7	钻→扩→机铰→手铰	IT6~IT7	0.2~0.4	大批量生产，精度由拉刀精度决定
8	钻→扩→拉	IT7~IT9	0.1~1.6	
9	粗镗（扩孔）	IT11~IT13	6.3~12.5	除淬火钢外的各种材料，毛坯有铸出或锻出孔
10	粗镗（扩孔）→半精镗（精扩）	IT9~IT10	1.6~3.2	
11	粗镗（扩孔）→半精镗（精扩）→精镗（铰）	IT7~IT8	0.8~1.6	
12	粗镗（扩孔）→半精镗（精扩）→精镗→浮动镗刀精镗	IT6~IT7	0.4~0.8	主要用于淬火钢，也可用于未淬火钢，但不宜用于有色金属
13	粗镗→半精镗→磨孔	IT7~IT8	0.2~0.8	
14	粗镗（扩孔）→半精镗→粗磨孔→精磨孔	IT6~IT7	0.1~0.2	
15	粗镗→半精镗→精镗→精细镗（金刚镗）	IT6~IT7	0.05~0.400	用于要求较高的有色金属加工
16	钻→（扩）→粗铰→精铰→珩磨 钻→（扩）→拉→珩磨 粗镗→半精镗→精镗→珩磨	IT6~IT7	0.025~0.200	精度要求很高的孔



续表

序号	加工方法	经济精度	表面粗糙度 $Ra$ ( $\mu m$ )	适用范围
17	钻→(扩)→粗铰→精铰→研磨 钻→(扩)→拉→研磨 粗镗→半精镗→精镗→研磨	IT6~IT7	0.006~0.100	精度要求很高的孔
注: (1) 对于直径大于 $\phi 30\text{ mm}$ 的已铸出或锻出的毛坯孔的加工, 一般采用粗镗→半精镗→孔口倒角→精镗的加工方案; 孔径较大的可采用立铣刀粗铣→精铣加工方案。(2) 对于直径小于 $\phi 30\text{ mm}$ 的无底孔的孔加工, 通常采用铤平端面→打中心孔→钻→扩→空口倒角→铰加工方案; 对有同轴度要求的小孔, 需采用铤平端面→打中心孔→钻→半精镗孔口倒角→精镗(或铰)加工方案				

2. 孔加工的切削参数及加工余量

(1) 孔加工的切削参数

表 6-3~表 6-6 列出了部分孔加工切削用量, 供选择时参考。

表 6-3 高速钢钻头加工钢件的切削用量

材料强度 切削用量  钻头直径 (mm)	$\sigma_b=520\sim 700\text{ MPa}$ (35 钢、45 钢)		$\sigma_b=700\sim 900\text{ MPa}$ (15Cr、20Cr)		$\sigma_b=1\ 000\sim 1\ 100\text{ MPa}$ (合金钢)	
	$v_c$ (m/min)	$F$ (mm/r)	$v_c$ (m/min)	$F$ (mm/r)	$v_c$ (m/min)	$F$ (mm/r)
1~6	8~25	0.05~0.1	12~30	0.05~0.1	8~15	0.03~0.08
6~12	8~25	0.1~0.2	12~30	0.1~0.2	8~15	0.08~0.15
12~22	8~25	0.2~0.3	12~30	0.2~0.3	8~15	0.15~0.25
22~50	8~25	0.3~0.45	12~30	0.3~0.45	8~15	0.25~0.35

表 6-4 高速钢钻头加工铸铁的切削用量

材料强度	160~200HBS		200~400HBS		300~400HBS	
切削用量						
钻头直径 (mm)	$v_c$ (m/min)	$F$ (mm/r)	$v_c$ (m/min)	$F$ (mm/r)	$v_c$ (m/min)	$F$ (mm/r)
1~6	16~24	0.07~0.12	10~18	0.05~0.1	5~12	0.03~0.08
6~12	16~24	0.12~0.2	10~18	0.1~0.18	5~12	0.08~0.15
12~22	16~24	0.2~0.4	10~18	0.18~0.25	5~12	0.15~0.2
22~50	16~24	0.4~0.8	10~18	0.25~0.4	5~12	0.2~0.3



表 6-5 高速钢铰刀铰孔的切削用量

工 件 材 料	铸 铁		钢及合金钢		铝及其合金	
切削用量 铰刀直径 (mm)	$v_c$ (m/min)	$F$ (mm/r)	$v_c$ (m/min)	$F$ (mm/r)	$v_c$ (m/min)	$F$ (mm/r)
6~10	2~6	0.3~0.5	1.2~5	0.3~0.4	8~12	0.3~0.5
10~15	2~6	0.5~1	1.2~5	0.4~0.5	8~12	0.5~1
15~25	2~6	0.8~1.5	1.2~5	0.5~0.6	8~12	0.8~1.5
25~40	2~6	0.8~1.5	1.2~5	0.4~0.6	8~12	0.8~1.5
40~60	2~6	1.2~1.8	1.2~5	0.5~0.6	8~12	1.5~2

表 6-6 镗孔切削用量

工 件 材 料		铸 铁		钢及合金钢		铝及其合金	
工序	切削用量	$v_c$ (m/min)	$F$ (mm/r)	$v_c$ (m/min)	$F$ (mm/r)	$v_c$ (m/min)	$F$ (mm/r)
	刀具材料						
粗加工	高速钢	20~25	0.4~0.45	15~30	0.35~0.7	100~150	0.5~1.5
	合金	35~50		50~70		100~250	
半精加工	高速钢	20~35	0.15~0.45	15~50	0.15~0.45	100~200	0.2~0.5
	合金	50~70		95~135			
精加工	高速钢 合金	70~90	D1 级<0.08 D 级 0.12~0.15	100~135	0.02~0.15	150~400	0.06~0.1

## (2) 孔加工的加工余量

表 6-7 中列出了在实体材料上的孔加工方式及加工余量，供选择时参考。

表 6-7 在实体材料上的孔加工方式及加工余量

孔径 (mm)	直径 (mm)							
	钻		粗 加 工		半 精 加 工		精加工 (H7、H8)	
	第一次	第二次	粗镗	扩孔	粗铰	半精镗	精铰	精镗
3	2.9	—	—	—	—	—	3	—
4	3.9	—	—	—	—	—	4	—
5	4.8	—	—	—	—	—	5	—
6	5.0	—	—	5.85	—	—	6	—
8	7.0	—	—	7.85	—	—	8	—
10	9.0	—	—	9.85	—	—	10	—
12	11.0	—	—	11.85	11.95	—	12	—
13	12.0	—	—	12.85	12.95	—	13	—
14	13.0	—	—	13.85	13.95	—	14	—



续表

孔径 (mm)	直径 (mm)							
	钻		粗 加 工		半 精 加 工		精加工 (H7、H8)	
	第一次	第二次	粗镗	扩孔	粗铰	半精镗	精铰	精镗
15	14.0	—	—	14.85	14.95	—	15	—
56	15.0	—	—	15.85	15.95	—	56	—
18	17.0	—	—	17.85	17.95	—	18	—
20	18.0	—	19.8	19.8	19.95	19.90	20	20
22	20.0	—	21.8	21.8	21.95	21.90	22	22
24	22.0	—	23.8	23.8	23.95	23.90	24	24
25	23.0	—	24.8	24.8	24.95	24.90	25	25
26	24.0	—	25.8	25.8	25.95	25.90	26	26
28	26.0	—	27.8	27.8	27.95	27.90	28	28
30	15.0	28.0	29.8	29.8	29.95	29.90	30	30
32	15.0	30.0	31.7	31.75	31.93	31.90	32	32
35	20.0	33.0	34.7	34.75	34.93	34.90	35	35
38	20.0	36.0	37.7	37.75	37.93	37.90	38	38
40	25.0	38.0	39.7	39.75	39.93	39.90	40	40
42	25.0	40.0	41.7	41.75	41.93	41.90	42	42
45	30.0	43.0	44.7	44.75	44.93	44.90	45	45
48	36.0	46.0	47.7	47.75	47.93	47.90	48	48
50	36.0	48.0	49.7	49.75	49.93	49.90	50	50

3. 攻螺纹的加工工艺

(1) 底孔直径的确定

攻螺纹之前要先打底孔，底孔直径的确定方法如下：

对钢和塑性较大的材料

$$D_{孔}=D-P$$

对铸铁和塑性较小的材料

$$D_{孔}=D-(1.05\sim 1)P$$

式中  $D_{孔}$ ——螺纹底孔直径 (mm)；

$D$ ——螺纹大径 (mm)；

$P$ ——螺距 (mm)。

(2) 盲孔螺纹底孔深度

盲孔螺纹底孔深度的计算方法如下：

$$\text{盲孔螺纹底孔深度}=\text{螺纹孔深度}+0.7d$$

式中  $d$ ——钻头的直径 (mm)。



#### 4. 孔加工路线安排

##### 1) 孔加工导入量与超越量

孔加工导入量（见图 6-30 中的 $\Delta Z$ ）是指在孔加工过程中，刀具自快进转为工进时，刀尖点位置与孔的上表面间的距离。孔加工导入量可参照表 6-8 选取。

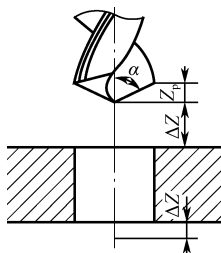


图 6-30 孔加工导入量与超越量

表 6-8 孔加工导入量 (mm)

加工方法 \ 表面状态	已加工表面	毛坯表面
钻孔	2~3	5~8
扩孔	3~5	5~8
镗孔	3~5	5~8
铰孔	3~5	5~8
铣削	3~5	5~8
攻螺纹	5~10	5~10

##### 2) 相互位置精度高的孔系的加工路线

对于位置精度要求较高的孔系加工，特别要注意孔的加工顺序的安排，避免将坐标轴的反向间隙引入，影响位置精度。

**【例题】** 镗削图 6-31 (a) 所示零件上的 4 个孔。

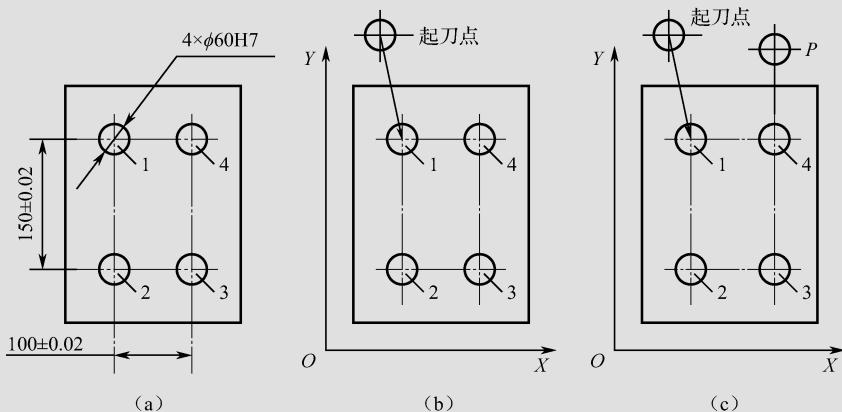


图 6-31 孔加工进给路线



若按图 6-31 (b) 所示进给路线加工, 由于孔 4 与孔 1、孔 2、孔 3 的定位方向相反, Y 向反向间隙会使定位误差增加, 从而影响孔 4 与其他孔的位置精度。按图 6-31 (c) 所示进给路线, 加工完孔 3 后往上移动一段距离至 P 点, 然后再折回来在孔 4 处进行定位加工, 这样方向一致, 就可避免反向间隙的引入, 提高了孔 4 的定位精度。

## 6.3 任务实施

### 6.3.1 加工工艺设计

#### 1. 加工图样分析

该零件上要求加工  $10\times\phi 6$ 、 $8\times M10$ 、 $\phi 10H8$  及  $\phi 15$  沉孔。其中  $\phi 10H8$  要求尺寸精度为 IT8, 表面粗糙度  $Ra\ 1.6\ \mu m$ , 加工精度要求较高, 其余孔和螺纹为未注公差, 表面粗糙度为  $Ra\ 3.2\ \mu m$ , 加工要求一般。

#### 2. 加工方案确定

根据各孔的加工要求, 确定加工方案如下:

- (1)  $10\times\phi 6$  加工方案: 打中心孔→钻  $10\times\phi 6$  底孔至  $\phi 5.8$ →铰孔至  $\phi 6$ 。
- (2)  $4\times M10$  加工方案: 打中心孔→钻  $8\times M10$  底孔至  $\phi 8.5$ →攻丝至 M10。
- (3)  $\phi 10H8$  加工方案: 打中心孔→钻  $\phi 10H8$  底孔至  $\phi 9.0$ →扩孔至  $\phi 9.85$ →铰孔至  $\phi 10$ 。
- (4)  $\phi 15$  加工方案: 用铰钻铰至  $\phi 15$ 。

#### 3. 装夹方案确定

毛坯为长方体零件, 上道工序已加工出各平面, 可直接用平口虎钳装夹, 底部用垫铁垫起, 注意要让出通孔的位置。

#### 4. 确定刀具

加工该零件, 需用到中心钻、麻花钻、扩孔钻、铰刀、丝锥和铰钻等。所选刀具及参数见表 6-9。

表 6-9 孔加工刀具卡

数控加工刀具卡片		工序号	程序编号	产品名称	零件名称	材料	零件图号		
		1	O0007		长方体	45 号钢			
序号	刀具号	刀具名称	刀具规格		补偿值		刀补号		备注
			直径	长度	半径	长度	半径	长度	
1	T01	中心钻	φ3	实测				H01	高速钢
2	T02	麻花钻	φ5.8	实测				H02	高速钢
3	T03	麻花钻	φ8.5	实测				H03	高速钢
4	T04	麻花钻	φ9.0	实测				H04	高速钢
5	T05	扩孔钻	φ9.85	实测				H05	高速钢
6	T06	丝锥	M10	实测				H06	高速钢



续表

数控加工刀具卡片		工序号	程序编号	产品名称	零件名称		材料	零件图号	
		1	O0007		长方体		45 号钢		
序号	刀具号	刀具名称	刀具规格		补偿值		刀补号		备注
			直径	长度	半径	长度	半径	长度	
7	T07	铰刀	$\phi 6$	实测				H07	高速钢
8	T08	铰刀	$\phi 10$	实测				H08	高速钢
9	T09	铰钻	$\phi 15$	实测				H09	高速钢
编制		审核		批准		年 月 日		共 页 第 页	

### 5. 确定加工工艺

加工工艺见表 6-10。

表 6-10 孔加工工序卡

数控加工工艺卡片				产品名称		零件名称		材料		零件图号					
						孔类零件		45 号钢							
工序号		程序编号		夹具名称		夹具编号		使用设备		车间		工序时间			
1		O0007~O00010		平口虎钳				XKA714B/F		实训中心					
工步号		工步内容		刀具名称		主轴转速 (r/min)		进给速度 (mm/min)		背吃刀量 (mm)		侧吃刀量 (mm)		备注	
1		打中心孔		T01		1500		60		1.5					
2		钻 10× $\phi 6$ 底孔至 $\phi 5.8$		T02		500		50		2.9					
3		钻 8×M10 底孔至 $\phi 8.5$		T03		500		50		4.25					
4		钻 $\phi 10H8$ 底孔至 $\phi 9.0$		T04		500		50		4.5					
5		扩 $\phi 9.0$ 孔至 $\phi 9.85$		T05		600		100		0.425					
6		攻丝至 M10		T06		120		180							
7		铰 $\phi 5.8$ 孔至 $\phi 6$		T07		120		60		0.2					
8		铰 $\phi 9.85$ 孔至 $\phi 10$		T08		120		60		0.75					
9		铰孔铰至 $\phi 15$		T09		600		100		2.5					
编制		审核				批准				年 月 日		共 页 第 页			

### 6.3.2 程序编制与加工

#### 1. 建立工件坐标系

根据工件尺寸标注特点，编程坐标系原点设置在上表面对称中心点上，如图 6-32 所示。

#### 2. 计算基点坐标

分别计算出各特征点的坐标值，孔 1 的坐标值 (30, 40)，孔 6 的坐标值 (30, -40)，其余各孔相隔 15 mm。孔 11 的坐标值 (0, 21)，孔 12 的坐标值 (-21, 0)，孔 13 的坐标



值 (0, -21), 孔 14 的坐标值 (21, 0), 中心孔的坐标值 (0, 0), 如图 6-32 所示。

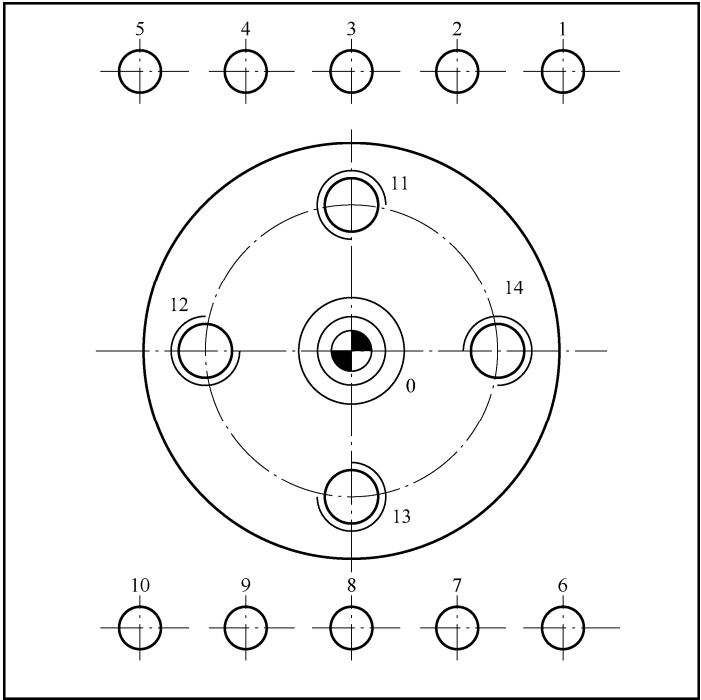


图 6-32 编程原点及加工顺序

3. 编制加工程序

根据前面的工艺分析和坐标计算, 编制加工程序。执行程序前, 要完成对刀, 确定各把刀的长度补偿值, 并填写加工程序单, 如表 6-11 所示。

表 6-11 数控铣削程序单

数控铣削程序单				刀具号	刀具名	刀具作用
单位名称		零件名称		零件图号		
		孔类零件		X05		
段号	程序号		O0008			
O0008;				程序号		
N5	G90 G54 G00 X0 Y0 Z100;			快速移动到 X0 Y0 Z100 点		
N10	M03 S1500;			主轴正转，转速为 1500 r/min		
N15	G43 Z50 H01;			快速到达安全高度并建立刀具长度补偿		
N20	G81 X0 Y0 Z-5 R3 F60;			打中心孔 0		
N25	X30 Y40;			打中心孔 1		
N30	G91 X-15 Z-8 R-47 F60 K4;			打中心孔 2~5		
N35	G90 X30 Y-40;			打中心孔 6		
N40	G91 X-15 Z-8 R-47 F60 K4;			打中心孔 7~10		





## 项目 6 孔加工

续表

数控铣削程序单			刀具号	刀具名	刀具作用
单位名称	零件名称	零件图号			
	孔类零件	X05			
段号	程序号	O0008			
O0008;			程序号		
N45	G90 X0 Y21;		打中心孔 11		
N50	X-21 Y0;		打中心孔 12		
N55	X0 Y-21;		打中心孔 13		
N60	X21 Y0;		打中心孔 14		
N65	G80;		取消固定循环		
N70	G90 G00 Z400 M05;		抬刀至 Z400, 主轴停		
N75	M00;		程序暂停, 人工换上 $\phi 5.8$ 麻花钻		
N80	G90 G54 G00 X0 Y0 Z100;		快速移动到 X0 Y0 Z100 点		
N85	M03 S500;		主轴正转		
N90	G43 Z50 H02;		主轴到达安全高度, 建立刀具长度补偿		
N95	G73 X30 Y40 Z-35 R3 Q5 F50;		钻孔 1		
N100	G91 X-15 Z-38 R-47 Q3 K4;		钻 2~5 孔		
N105	G90 X30 Y-40;		钻孔 6		
N110	G91 X-15 Z-38 R-47 Q3 K4;		钻 7~10 孔		
N115	G80;		取消固定循环		
N120	G90 G00 Z400 M05;		抬刀至 Z400, 主轴停		
N125	M00;		程序暂停, 人工换上 $\phi 8.5$ 麻花钻		
N130	G90 G54 G00 X0 Y0 Z100;		快速移动到 X0 Y0 Z100 点		
N135	M03 S500;		主轴正转		
N140	G43 Z50 H03;		主轴到达安全高度, 建立刀具长度补偿		
N145	G73 Y21 Z-23 R3 Q5 F50;		钻 11 孔		
N150	X0 Y21;		钻 12 孔		
N155	X-21 Y0;		钻 13 孔		
N160	X0 Y-21;		钻 14 孔		
N165	G80;		取消固定循环		
N170	G90 G00 Z400 M05;		抬刀至 Z400, 主轴停		
N180	M00;		程序暂停, 人工换上 $\phi 9.0$ 麻花钻		
N185	G90 G54 G00 X0 Y0 Z100;		快速移动到 X0 Y0 Z100 点		
N190	M03 S500;		主轴正转		
N195	G43 Z50 H04;		主轴到达安全高度, 建立刀具长度补偿		
N200	G73 Z-35 R3 Q5 F50;		钻 $\phi 10$ 孔		



续表

数控铣削程序单			刀具号	刀具名	刀具作用
单位名称	零件名称	零件图号			
	孔类零件	X05			
段号	程序号	O0008			
O0008;			程序号		
N205	G80;		取消固定循环		
N210	G90 G00 Z400 M05;		抬刀至 Z400, 主轴停		
N215	M00;		程序暂停, 人工换上 $\phi 9.85$ 扩孔钻		
N220	G90 G54 G00 X0 Y0 Z100;		快速移动到 X0 Y0 Z100 点		
N225	M03 S600;		主轴正转		
N230	G43 Z50 H05;		主轴到达安全高度, 建立刀具长度补偿		
N235	G81 X0 Y0 Z-35 R3 F100;		扩中心孔至 $\phi 9.85$ mm		
N240	G80;		取消固定循环		
N245	G90 G00 Z400 M05;		抬刀至 Z400, 主轴停		
N250	M00;		程序暂停, 人工换上 M10 丝锥		
N255	G90 G54 G00 X0 Y0 Z100;		快速移动到 X0 Y0 Z100 点		
N260	M03 S120;		主轴正转		
N265	G43 Z50 H06;		主轴到达安全高度, 建立刀具长度补偿		
N270	G84 Y21 Z-15 R3 F180;		攻丝 11 孔		
N275	X-21 Y0;		攻丝 12 孔		
N280	X0 Y-21;		攻丝 13 孔		
N285	X21 Y0;		攻丝 14 孔		
N290	G80;		取消固定循环		
N295	G00 Z400 M05;		抬刀至 Z400, 主轴停		
N300	M00;		程序暂停, 人工换上 $\phi 6$ 铰刀		
N305	G90 G54 G00 X0 Y0 Z100;		快速移动到 X0 Y0 Z100 点		
N310	M03 S120;		主轴正转		
N315	G43 Z50 H07;		主轴到达安全高度, 建立刀具长度补偿		
N320	G85 X30 Y40 Z-35 R3 F60;		铰 1 孔		
N325	G91 X-15 Z-38 R-47 K4;		铰 2~5 孔		
N330	G90 X30 Y-40;		铰 6 孔		
N335	G91 X-15 Z-38 R-47 Q3 K4;		铰 7~10 孔		
N340	G80;		取消固定循环		
N345	G90 G00 Z400 M05;		抬刀至 Z400, 主轴停		
N350	M00;		程序暂停, 人工换上 $\phi 10$ 铰刀		
N355	G90 G54 G00 X0 Y0 Z100;		快速移动到 X0 Y0 Z100 点		



续表

数控铣削程序单						刀具号	刀具名	刀具作用
单位名称		零件名称		零件图号				
		孔类零件		X05				
段号	程序号		O0008					
O0008;						程序号		
N360	M03 S120;					主轴正转		
N365	G43 Z50 H08;					主轴到达安全高度，建立刀具长度补偿		
N370	G85 Z-35 R3 F60;					铰 0 孔		
N375	G80;					取消固定循环		
N380	G90 G00 Z400 M05;					抬刀至 Z400，主轴停		
N385	M00;					程序暂停，人工换上 $\phi 15$ 铰孔钻		
N390	G90 G54 G00 X0 Y0 Z100;					快速移动到 X0 Y0 Z100 点		
N395	M03 S600;					主轴正转		
N400	G43 Z50 H09;					主轴到达安全高度，建立刀具长度补偿		
N405	G81 Z-5 R3 F100;					铰孔至-5 mm		
N410	G00 Z100;					抬刀至 100 mm		
N415	M30;					程序结束		
编制			审核		批准		年 月 日	共 页 第 页

#### 4. 程序调试与加工

- (1) 将实训学生分组, 每组 6 人, 小组成员间分工协作完成程序编制和零件加工。
- (2) 将程序输入数控系统, 先进行图形模拟, 然后分别进行粗、精加工和螺纹加工, 保证最后尺寸和表面粗糙度。
- (3) 加工完成, 卸下工件, 清理机床。

## 6.4 考核评价

### 1. 学生自检

学生完成零件自检, 填写“考核评分表”, 见表 6-12。并同刀具卡、工序卡和程序单一起上交。

### 2. 成绩评定

教师协同组长, 对零件进行检测, 对刀具卡、工序卡和程序单进行批改, 对学生整个任务的实施过程进行分析, 并填写“考核评分表”对每个学生进行成绩评定。



表 6-12 项目六考核评分表

零件名称		轮廓零件		零件图号				操作人员				完成工时			
序号	鉴定项目及标准			配分		评分标准（扣完为止）					自检	检查结果	得分		
1	任务实施 (45 分)	填写刀具卡		5		刀具选用不合理扣 5 分									
2		填写加工工序卡		5		工序编排不合理每处扣 1 分，工序卡填写不正确每处扣 1 分									
3	任务实施 (45 分)	填写加工程序单		10		程序编制不正确每处扣 1 分									
4		工件安装		3		装夹方法不正确扣 3 分									
5		刀具安装		3		刀具安装不正确扣 3 分									
6		程序录入		3		程序输入不正确每处扣 1 分									
7		对刀操作		3		对刀不正确每次扣 1 分									
8		零件加工过程		3		加工不连续，每中止一次扣 1 分									
9		完成工时		4		每超时 5 min 扣 1 分									
10		安全文明		6		撞刀、未清理机床和保养设备扣 6 分									
11	工件质量 (45 分)	10×φ6	尺寸	10	尺寸每超 0.1 mm 扣 2 分										
12			粗糙度	5	每降一级扣 2 分										
13		8×M10	尺寸	10	尺寸每超 0.1 mm 扣 2 分										
14			粗糙度	5	每降一级扣 2 分										
15		φ15、 φ10H8	尺寸	10	尺寸每超 0.01 mm 扣 2 分										
			粗糙度	5	每降一级扣 2 分										
16	误差分析 (10 分)	零件自检		4		自检有误差每处扣 1 分，未自检扣 4 分									
17															
18		填写工件误差分析		6		误差分析不到位扣 1~4 分，未进行误差分析扣 6 分									
合计				100											
误差分析（学生填）															
考核结果（教师填）															
检验员				记分员				时间				年 月 日			

## 6.5 探究与拓展

### 6.5.1 问题探究

对影响孔的位置精度的因素及改进方法进行探究，并填写表 6-13。



表 6-13 孔的位置精度的影响因素及改进方法

序 号	影 响 因 素	改进方法及保证措施
1	机床丝杠的反向间隙	
2	麻花钻的结构	
3	工件定位与装夹	
4	镗杆刚度	
5	孔距测量	

## 6.5.2 知识拓展——钻头刃磨与群钻

### 1. 钻头刃磨口诀

口诀一：“刃口摆平轮面靠”。这是钻头与砂轮相对位置的第一步，往往有学生还没有把刃口摆平就靠在砂轮上开始刃磨了，这样肯定是磨不好的。这里的“刃口”是主切削刃，“摆平”是指被刃磨部分的主切削刃处于水平位置。“轮面”是指砂轮的表面。“靠”是慢慢靠拢的意思。此时钻头还不能接触砂轮。

口诀二：“钻轴斜放出锋角”。这里是指钻头轴心线与砂轮表面之间的位置关系。“锋角”即顶角  $118^\circ \pm 2^\circ$  的一半，约为  $60^\circ$ 。这个位置很重要，直接影响钻头顶角大小及主切削刃形状和横刃斜角。要提示学生记忆常用的一块  $30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$  三角板中  $60^\circ$  的角度，学生便于掌握。口诀一和口诀二都是指钻头刃磨前的相对位置，二者要统筹兼顾，不要为了摆平刃口而忽略了摆好斜角，或为了摆好斜放轴线而忽略了摆平刃口。在实际操作中往往会出这些错误。此时钻头在位置正确的情况下准备接触砂轮。

口诀三：“由刃向背磨后面”。这里是指从钻头的刃口开始沿着整个后刀面缓慢刃磨，这样便于散热和刃磨。在稳定巩固口诀一、二的基础上，此时钻头可轻轻接触砂轮，进行较少量的刃磨，刃磨时要观察火花的均匀性，要及时调整压力大小，并注意钻头的冷却。当冷却后重新开始刃磨时，要继续摆好口诀一、二中的位置，这一点往往在初学时不易掌握，常常会不由自主地改变其位置。

口诀四：“上下摆动尾别翘”。这个动作在钻头刃磨过程中也很重要，往往有学生在刃磨时把“上下摆动”变成了“上下转动”，使钻头的另一主刀刃被破坏。同时钻头的尾部不能高翘于砂轮水平中心线以上，否则会使刃口磨钝，无法切削。

### 2. 群钻

将标准麻花钻的切削部分修磨成特殊形状的钻头。群钻是中国人倪志福于 1953 年创造的，原名倪志福钻头，后经本人倡议改名为“群钻”，寓群众参与改进和完善之意。标准麻花钻的切削部分由两条主切削刃和一条横刃构成，最主要的缺点是横刃和钻心处的负前角大，切削条件不利。群钻是把标准麻花钻的切削部分磨出两条对称的月牙槽，形成圆弧刃，并在横刃和钻心处经修磨形成两条内直刃。这样，加上横刃和原来的两条外直刃，就将标准麻花钻的“一尖三刃”磨成了“三尖七刃”。修磨后钻尖高度降低，横刃长度缩短，圆弧刃、内直刃和横刃处的前角均比标准麻花钻相应处大。因此，用群钻钻削钢件时，轴向力和扭矩分别比标准麻花钻降低 30%~50% 和 10%~30%，切削时产生的热量显著减少。标准麻花钻钻削钢件时形成较宽的螺旋形带状切屑，不利于排屑和冷却。群钻由于有月牙槽，有利于断



屑、排屑和切削液进入切削区，进一步减小了切削力和降低切削热。由于以上原因，刀具寿命可比标准麻花钻提高 2~3 倍，或生产率提高 2 倍以上。群钻的三个尖顶可改善钻削时的定心性，提高钻孔精度。为了钻削铸铁、紫铜、黄铜、不锈钢、铝合金和钛合金等各种不同性质的材料，群钻又有多种变型，但“月牙槽”和“窄横刃”仍是各种群钻的基本特点。

### 6.5.3 拓展训练

对图 6-33~图 6-35 所示的孔类零件进行编程加工，表面已经加工，只加工相应的孔。

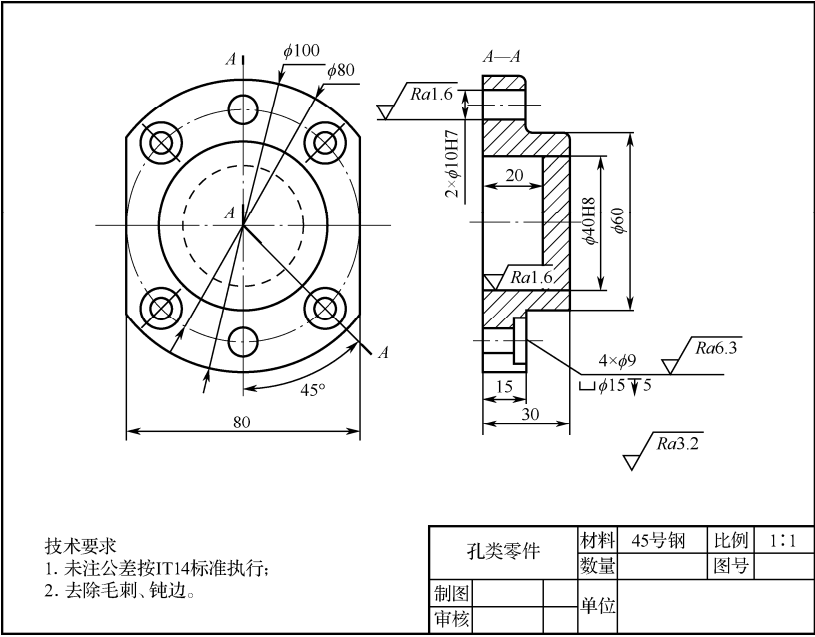


图 6-33 孔类零件拓展训练图 (1)

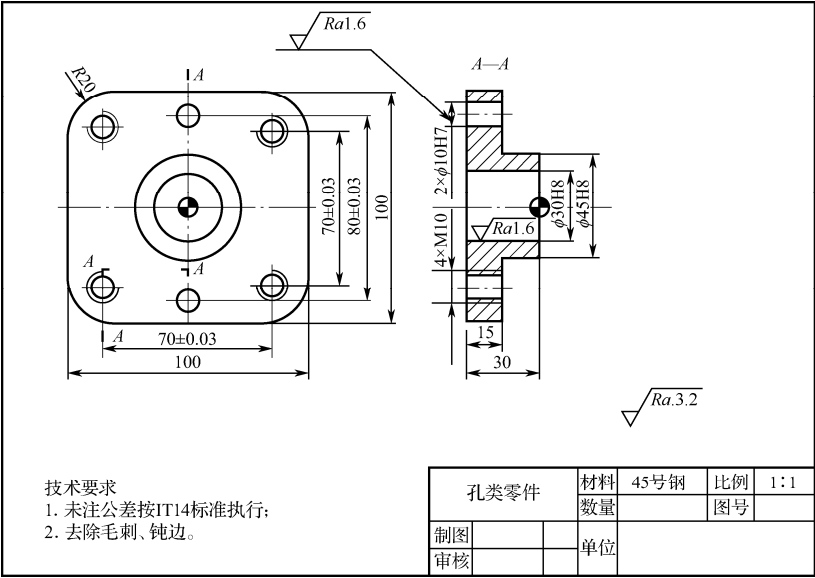
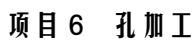


图 6-34 孔类零件拓展训练图 (2)



## 参考文献

- [1] 方沂. 数控机床编程与操作. 北京: 国防工业出版社, 1999.
- [2] FANUC 0i-MB 操作说明书. 北京 FANUC 公司.
- [3] FANUC 0-MD 操作说明书. 北京 FANUC 公司.
- [4] FANUC0 维修说明书. 北京 FANUC 公司.
- [5] 乔福加工中心 VMC850 机床操作说明书.
- [6] POWERMILL 软件操作说明书. 北京 DELCAM 公司.
- [7] 邓奕, 苏先辉, 肖调生. Master CAM 数控加工技术. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [8] 罗学科, 张超英. 数控机床编程与操作实训. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [9] 许发樾. 模具制造工艺装备及应用. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [10] 李华. 机械制造技术. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [11] 唐应谦. 数控加工工艺学. 北京: 中国劳动保障出版社, 2000.
- [12] 华茂发. 数控机床加工工艺. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [13] 刘雄伟, 等. 数控加工理论与编程技术. 第 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [14] 李善术. 数控机床及其应用. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [15] 许祥泰, 刘艳芳. 数控加工编程实用技术. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [16] 李郝林, 方健. 机床数控技术. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [17] 陈日曜. 金属切削原理. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [18] 余仲裕. 数控机床维修. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [19] 王睿, 张小宁, 等. Master CAM 8.X 实用培训教程. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [20] 严烈. Master CAM 8 模具设计超级宝典. 北京: 冶金工业出版社, 2000.